

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GIDA TEKNOLOJİSİ BİLİM DALI**

**TAHİL BAZLI ATIŞTIRMALIK BARLARIN FARKLI  
YÖNTEMLERLE MİKROENKAPSÜLE EDİLMİŞ DEMİR İLE  
ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE BİYOERİŞİLEBİLİRLİKLERİNİN  
BELİRLENMESİ**

**Emine ERDAĞ AKCA**

**Danışman  
Prof. Dr. Ergun KÖSE**



**MANİSA-2021**

**Emine  
ERDAĞ  
AKCA**

**Tahlı Bazlı Aıtırmalık Barların Farklı Yöntemlerle Mikroenkapsüle Edilmiş Demir ile  
Zenginleştirilmesi ve Biyoerişilebilirliklerinin Belirlenmesi**

**2021**

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Emine ERDAĞ AKCA**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ .....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	7
2.1. Demir Mineralinin Beslenme Yeri .....	7
2.2. Biyoerişilebilirlik Kavramı ve Demir Mineralinin Biyoerişilebilirliği .....	9
2.3. Enkapsülasyon Teknolojisi ve Biyoerişilebilirliğe Etkisi .....	14
2.3.1. Dondurarak Kurutma .....	16
2.3.2. Akışkan Yatak Kaplama .....	17
2.3.3. Sprey Kurutma.....	18
2.3.4. Sprey Dondurma/Soğutma.....	19
2.3.5. Ekstrüzyon .....	20
2.3.6. Lipozom Kaplama.....	21
2.3.7. Koaservasyon.....	22
2.3.8. Emülsifikasyon .....	23
2.3.9. İyonik Jelasyon .....	24
2.4. Demir Enkapsülasyonu ile İlgili Çalışmalar .....	26
2.5. Tezin Amacı .....	29
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	30
3.1. Materyal.....	30
3.2. Yöntem .....	30
3.2.1. Çalışma Deseninin Planlanması.....	30
3.2.2. Mikrokapsüllerin Oluşturulması .....	31
3.2.3. Atıştırmalık Tahıl Barlarının Üretimi .....	33
3.2.4. Kül Tayini .....	36
3.2.5. Nem Tayini .....	36
3.2.6. Protein Tayini .....	37
3.2.7. Demir Miktarı Tayini.....	37
3.2.8. <i>In Vitro</i> Sindirim Modellemesi .....	37
3.2.9. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM).....	41
3.2.10. Renk tayini.....	41
3.2.11. Tekstür Profili Analizi (TPA).....	41
3.2.12. Pişme Kaybı ve Ürün Verimi.....	42
3.2.13. Duyusal Analiz .....	42
3.2.14. İstatistiksel Analiz.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	44
4.1. Atıştırmalıkların Kimyasal Analizi Sonuçları.....	44
4.1.1. Tahıl Atıştırmalıkların Genel Bileşimi .....	44
4.1.2. Tahıl Atıştırmalıklarında Demir Miktarı ve Biyoerişilebilirliği .....	46
4.1.3. Tahıl Atıştırmalıklarında Pişme Kaybı ve Ürün Verimi Hesaplanması ...	49
4.2. Mikrokapsüllerde SEM Analizi.....	49
4.3. Tahıl Atıştırmalıklarının Fiziksel Analizleri .....	51

4.3.1. Tahıl Atıştırmalıklarında Renk Tayini.....	51
4.3.2. Tahıl Atıştırmalıklarında Tekstür Analizi.....	53
4.4. Tahıl Atıştırmalıklarında Duyusal Değerlendirme.....	55
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	57
KAYNAKLAR .....	59
EKLER.....	70
ÖZGEÇMİŞ .....	72



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

**WHO** World Health Organization Dünya Sağlık Örgütü

**USDA** United States Department of Agriculture Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı

**FAO** Gıda ve Tarım Örgütü

**DE** demir eksikliği

**DEA** demir eksikliği anemisi

**yy** yüzyıl

**cm<sup>2</sup>** santimetrekare

**dk** dakika

**g** gram

**mg** miligram

**ml** mililitre

**mm** milimetre

**nm** nanometre

**kg** kilogram

**L** litre

**L\*** aydınlık

**a\*** kırmızılık/yeşillik

**b\*** sarılık/mavilik

**rpm** dakikadaki devir sayısı

**s** saniye

**T** sıcaklık

**t** dakika

**v** hacim

**w** ağırlık

**°C** derece celsius

**µm** mikrometre

**%** yüzde

**%BE** yüzde biyoerişilebilirlik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Biyoyararlılık tespitinde kullanılan yöntemler .....	11
Şekil 2.2. Morfolojilerine göre kapsül yapıları .....	14
Şekil 2.3. Dondurarak kurutma işleminin temel prensibi .....	16
Şekil 2.4. Akışkan yatak kaplama işleminin temel prensibi .....	17
Şekil 2.5. Sprey kurutma işleminin temel prensibi .....	18
Şekil 2.6. Sprey dondurma işleminin temel prensibi .....	19
Şekil 2.7. Ekstrüzyon işleminin temel prensibi .....	20
Şekil 2.8. Lipozom kaplama ile enkapsülasyon .....	21
Şekil 2.9. Koaservasyon ile enkapsülasyon .....	23
Şekil 2.10. Emülsifikasyon ile enkapsülasyon .....	24
Şekil 2.11. İyonik jelasyon ile enkapsülasyon .....	25
Şekil 3.1. Emülsifikasyon (faz ayrımı) yöntemi ile mikrokapsüllerin oluşturulması .	32
Şekil 3.2. İyonik jelasyon (damlatma) yöntemi ile mikrokapsüllerin oluşturulması...	35
Şekil 3.3. Tahıl atıştırma süreçlerinin üretim akış şeması.....	37
Şekil 4.1. İyonik jelasyon ile oluşturulan mikrokapsüllerin SEM görüntüleri .....	50
Şekil 4.2. Emülsifikasyon ile oluşturulan mikrokapsüllerin SEM görüntüleri.....	50

## TABLO DİZİNİ

### Sayfa

Tablo 1.1. Yaygın olarak tüketilen besinlerin demir içerikleri .....	5
Tablo 2.1. Günlük tavsiye edilen demir alım miktarı . .....	8
Tablo 2.2. Tahıl ürünlerinde biyoerişilebilirlik çalışmaları .....	13
Tablo 2.3. Enkapsülasyon tekniklerinin sınıflandırılması.....	15
Tablo 2.4. Demir enkapsülasyonu çalışmaları .....	28
Tablo 3.1. Tahıl bazlı atıştırmalıkların kodları .....	31
Tablo 3.2. Tahıl bazlı atıştırmalıkların formülasyonu .....	35
Tablo 3.3. Pepsin aktivitesinin hesaplanması için kör ve örnek tüplerinin hazırlanması .....	38
Tablo 3.4. Simüle sindirim sıvılarının oluşturulması.....	40
Tablo 4.1. Tahıl bazlı atıştırmalıklarının genel kimyasal içeriği .....	44
Tablo 4.2. Tahıl bazlı atıştırmalıkların demir miktarları ve biyoerişilebilirlikleri....	46
Tablo 4.3. Tahıl ürünleri ile yapılan farklı çalışmalardan demir biyoerişilebilirliği... 48	
Tablo 4.4. Tahıl bazlı atıştırmalıklarda pişme kaybı ve ürün verimi.....	49
Tablo 4.5. Tahıl bazlı atıştırmalıkların renk L*, a*, b* değerleri .....	52
Tablo 4.6. Tahıl bazlı atıştırmalıkların tekstür analizi sonuçları .....	53
Tablo 4.7. Tahıl bazlı atıştırmalıkların duyusal değerlendirme sonuçları .....	55



## TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ergun KÖSE'ye, çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Özlem ÇAĞINDI' ya, yüksek lisans eğitimim başından itibaren benimle paylaştıkları sevgi ve tecrübeleri için Dr. Ceyda SÖBELİ ve Dr. Müge UYARCAN'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen, akademisyen olma yolunda karşılaştığım her zorlukta ve sevinçte benimle aynı duyguları yaşayan, beni yetiştirmek için sonsuz fedakarlık ve sabır gösteren, emeklerini asla ödeyemeceğim canım annem Hacer Narin ERDAĞ ve canım babam Nevzat ERDAĞ'a; sevgisi ve bana olan inançları için kardeşim Ömer ERDAĞ ve ablam Çiğdem ERDAĞ'a; çalışmam esnasında sabır ve desteğiyle yanımda olan, tüm sevgisiyle moral ve motivasyonumu artıran, yol arkadaşım ve eşim Mustafa AKCA'ya bu yolda benimle birlikte yürüdükleri için sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmasına hammadde desteği sağlayan Akcan Kimya San. Tic.'e teşekkür ederim.

Projemize sağladığı mali destekten dolayı (MCBÜ BAP 2019-169) Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bu yayındaki deneysel çalışmaların tamamı veya bir kısmı Manisa Celal Bayar Üniversitesi-Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (DEFAM) yürütülmüştür.

Emine ERDAĞ AKCA  
Manisa, 2021

## ÖZET

Yüksek Lisans

### TAHİL BAZLI ATIŞTIRMALIK BARLARIN FARKLI YÖNTEMLERLE MİKROENKAPSÜLE EDİLMİŞ DEMİR İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ VE BİYOERİŞİLEBİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

EMİNE ERDAĞ AKCA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ergun KÖSE

Bu çalışmada, iki farklı yöntem (iyonik jelasyon ve emülsifikasyon) ile enkapsüle edilen demir tozunun tam buğday unu ile yapılan atıştırma işlemlerine eklenmesi ve üründeki demirin *in vitro* sindirim modeli kullanılarak biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

İlk aşamada kapsüllerin üretimleri gerçekleştirilmiş ve mikro yapının daha iyi anlaşılabilmesi için SEM görüntüleri incelenmiştir. İkinci aşamada demir sülfat ve kapsüle demir sülfat ile takviye edilen un, galetaların üretimi için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında atıştırma işlemlerinin kimyasal bileşimi belirlemek amacıyla nem, kül, protein analizleri gerçekleştirilmiş; analizler sonucu gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ürünler aynı zamanda tüketici tercihini etkileyen fiziksel ve duyuşsal parametrelerce kıyaslanmıştır. Direkt veya kapsül demir takviyesi yapılan tahıl atıştırma işlemlerinde pişme kaybı, verim ve tekstürel özellikler üzerinde kontrol grubundan farklılıklar oluşmamıştır. Yapılan renk analizi sonucu zenginleştirilmiş grupların a\*, b\* değerlerinde ve koyuluk olarak artış gözlenirse de bu sonuç panelistler tarafından gerçekleştirilen duyuşsal değerlendirmeyi etkilememiş; tüm gruplar kontrol grubuna benzer puanlanmıştır. İnsan sindirim sisteminin simüle edilmesini baz alan *in vitro* statik sindirim modellemesi ile örnekler sindirime tabii tutulmuştur. Sindirim sonrası demir miktarı en fazla emülsifikasyon metodunda bulunmuştur. Ancak %biyoerişilebilirlik açısından iki kapsül yöntemi arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ve emülsifikasyonda bu oran %29,09, iyonik jelasyon yönteminde ise %21,81 olarak tespit edilmiştir. %BE demirin direkt ilave edildiği gruplarda ise, %20,34±8,89 olarak bulunmuştur.

Araştırma bulguları demir miktarı ve erişilebilirliği artırılırken son üründe reolojik olarak istenmeyen bir yan etki oluşmadığını göstermektedir. Fiziksel kapsülasyon yöntemlerine nispeten daha az ekipman bilgisi ve az maliyetli olan kimyasal yöntemlerin optimizasyon çalışmaları ile demir biyoyararlılık ve/veya biyoerişilebilirliğinin ileri seviyelerde artırılmasının mümkün olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** demir, enkapsülasyon, *in vitro* sindirim, tahıl bar

2021, 72 sayfa

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **ENRICHMENT OF CEREAL-BASED SNACK BARS WITH MICROENCAPSULATED IRON BY DIFFERENT METHODS AND DETERMINATION OF BIOACCESSIBILITY**

**Emine ERDAĞ AKCA**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Food Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Ergun KÖSE**

In this study, it was aimed that add the encapsulated iron obtained by two different method (ionic gelation and emulsification) to whole wheat flour snacks and determine the iron bioaccessibility in products with *in vitro* digestion model.

First of all, ferrous sulphate were encapsulated and SEM images were analyzed to better understand of microstructure. In the second stage, wheat flour was enriched with ferrous sulfate and capsulated ferrous sulfate and used for the breadstick production. Within the scope of the study, moisture, ash, protein analyses were conducted to obtain information of snacks chemical composition; and no significant differences were found between the groups. Samples were also compared in terms of physical and sensory parameters that affect consumer choice. Addition of capsulated or noncapsulated iron did not cause on baking loss, yield and textural properties. Although an increasing a \*, b \* values and darkness in fortified groups as a result of color analyses, this result did not affect the sensory analyses performed by panelists; all groups were rated similar to the control group. Samples were digested by *in vitro* static digestion model based on simulating human digestion system. The maximum post-digestion iron amount was found in the emulsification method. However, no significant difference was found between the two capsule methods in terms of bioaccessibility; and it was found to be 29.09% in emulsification and 21.81% in ionic gelation method. In the case of ferrous sulphate was added directly, BA% was found to be 20.34±8.89%.

Findings show that while ironcontent and accessibility are increased, rheologically undesirable side effects not occur in the final product. It is thought that it may be possible to increase iron bioavailability and/or bioaccessibility at advanced levels by optimization studies of chemical methods with less equipment knowledge and low cost compared to physical capsulation methods.

**Keywords: cereal based snack, encapsulation, iron, *in vitro* digestion**

**2021, 72 pages**

## 1. GİRİŞ

Beslenme, yaşamsal tüm süreçlerin devam ettirilebilmesi için besinlerin alımı ve metabolize edilmesini içeren kapsamlı bir süreçtir. Beslenme ve diyet faktörleri insan sağlığı ve refahı için hayati öneme sahiptir [1]. Besin maddeleri ise; gıdalardan elde edilerek, vücutta doku ve organların büyümesi, bakımı ve onarımını destekleyen kimyasal maddelerdir [2]. USDA tarafından optimum beslenme için oluşturulan besin piramidinde gıdalar 6 temel gruba ayrılmıştır. Piramidin en alt basamağını tahıllar (hububatlar) oluşturmaktadır. Bunu sırası ile meyve ve sebze grubu, süt ve et ürünleri grubu ve yağlar takip etmektedir [3]. Yaşamsal faaliyetlerin sürdürülebilmesi için gerekli olan enerji, makro besinsel ögeler (karbonhidratlar, yağlar, proteinler) ve mikro besinsel ögelerden (vitaminler ve mineraller) sağlanmaktadır [4].

Mineraller gıdalardaki temel inorganik bileşenler olarak hücrelerde biyolojik açıdan çok sayıda işlevsel ve yapısal rol oynamaktadır. Ayrıca benzer bileşenlerin bu rolü gerçekleştiremediği bilinmektedir [5]. Vücutta bulunma miktarlarına göre makro ve iz mineraller olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Makro mineraller vücut hücrelerinde iz (eser) minerallerden daha çok bulunmasına ve beslenme ile yüksek miktarlarda (250 mg) alınmasına rağmen, her iki grup da aynı derece öneme sahiptir. Günlük alım miktarları 20 mg'dan az olan ama hayati öneme sahip iz mineraller; demir, manganez, bakır, iyot, çinko, kobalt, molibden, flor, selenyum, krom ve bordan oluşmaktadır [6, 7]. Bunların içinde demir, akciğerden gelen oksijenin dokulara taşınması, elektronlar için taşıyıcı bir ortam olması ve önemli enzim sistemlerinin bir parçası olması gibi önemli metabolik faaliyetlere sahiptir. WHO tarafından günlük alınması gereken demir miktarı ortalama 18 mg olarak verilmiştir ancak belirli dönemlerdeki (bebekler, çocuklar, ergenler ve doğurganlık çağındaki kadınlar) popülasyonlar metabolik faaliyetlerini optimum şekilde sürdürebilmek için daha fazla demire ihtiyaç duymaktadır [8].

Son 20 yılda mikro besin ögelerinin fizyolojik rollerini anlamak, yetersizliklerinin sonuçlarını ve halk sağlığına etkilerini tanımlamak, yetersizliklerini önlemek ve kontrol stratejileri geliştirmek için önemli araştırmalar yapılmıştır [8]. Minerallerin biyolojik sistemlerdeki rolü ve birbirleri ile etkileşimleri halen keşfedilmeye devam etse de demirle ilgili çalışmaların temeli Antik Yunan

topluluklarına kadar dayanmaktadır. Demirin canlı hücreler için önemi ile ilgili ilk makalenin yayımlanması ise 1873'te Boussingault tarafından gerçekleştirilmiştir. Bundan 20 yıl sonra Bunge, beslenmesi yoğun olarak süte dayanan bebeklerin düşük demir alımına yatkın olduklarını gösteren bir çalışma ortaya koymuştur. Bu çalışmalarla birlikte demirin besinsel değeri ve yetersiz alınımının bazı sonuçları dikkat çekmeye başlamıştır [5, 9]. Bununla birlikte son yıllardaki araştırmalarda demir eksikliği ile bozulmuş beyin gelişimi arasındaki ilişki ortaya konulmuş, öğrenmeyi ve davranışı etkileyen fonksiyonel kusurların ilerleyen süreçte takviye alımı ile düzeltilemediği gözlemlenmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen bulgulara göre demir eksikliğinin erken dönemlerde önlenmesi daha acil bir hal almıştır [8].

Diyette günlük alınan demirin yaklaşık %80'i hemoglobin sentezi için kullanılmaktadır. Günlük alım miktarının 15-25 mg arasında olduğu göz önüne alındığında, bağırsaklar tarafından emilen miktar 1-2 mg olarak tahmin edilmektedir [5]. Dünya genelinde yaklaşık 1 milyar insanda demir eksikliği anemisi görülmektedir. Risk altındaki gruplar özellikle bebekler, çocuklar, ergenler ve doğurganlık çağındaki kadınlardır [8, 10]. 1990-2011 yılları arasında 190 ülkede aneminin yaygınlığı araştırılan bir çalışmada; aneminin 800 milyon civarında çocuğu ve kadını etkilediği ortaya konmuştur [11]. Dünyadaki gebe kadınların %38,2'sinin, Türkiye'de ise üreme çağındaki kadınların %20-39'unun anemik olduğu bildirilmektedir. Gebelikte anemi; annenin hastalanma ve ölüm riskinde artışa (%40), fetüste büyüme geriliği, düşük doğum ağırlığı, erken doğum ve perinatal mortalite riskinde artışa sebebiyet verdiği düşünülmektedir [12].

Demir eksikliği ile mücadelede birkaç yöntem izlenebilir;

- Özellikle risk altında olan belirli gruplara tablet gibi yöntemlerle demir takviyesi yapılması
- Belirli gıdaların (un, tuz gibi) demir ile zenginleştirilmesi
- Demir alımını ve de biyoyararlanımını artırarak emilen demir miktarının iyileştirilmesi amacıyla gıda ve beslenme eğitimlerinin verilmesi.

Bu konuda izlenen strateji ve politikalara yön veren etkenlerin başında ülkelerin sağlık alt yapısı, ekonomi, insanların kaynaklara erişebilirliği gelmektedir [8].

Demir eksikliğinin ve demir eksikliğine bağlı aneminin önlenmesinde yaygın tüketilen gıdaların zenginleştirilmesi en etkili, en zararsız ve risk altındaki farklı gruplara fayda sağlayabilmek için en ucuz mekanizma olarak görölmektedir. Ek olarak süt, un, tuz gibi yaygın tüketilen gıdalarda demir takviyesinin akıllıca kullanımının, hemakromatozis gibi demir depolama bozukluklarının sıklığını ya da şiddetini artırma tehlikesi yaratmadığına dair düşünceler artmaktadır [1, 13].

Zenginleştirme çalışmaları sırasında kullanılan gıdanın amaca uygunluğu önemli bir parametre olarak görölmektedir. Nüfusun büyük bir kısmının ulaşımının kolay olması nedeniyle temel gıdalar ve çeşniler (un, tuz gibi) zenginleştirmesi yaygın olarak yapılan araçlardır. Günümüzde 84 ülke endüstriyel olarak öğütölmüş tahıllardan en az birinin zenginleştirilmesini zorunlu kılacak yasalara sahiptir. Bu ölkelerden 83'ünün yasaları demir yönünden zenginleştirmede buğday ununun kullanımını içermektedir [13, 14].

Gıda zenginleştirmede ve fonksiyonel gıda ortaya koymada asıl hedef genellikle antioksidan özelliklere sahip bitki özleri, çoklu doymamış yağ asitleri, probiyotikler, vitaminler, minerallerdir. Ancak bu bileşenlerin çoğunun normal şartlar altında kararsız yapıda olmaları ve uygulandıkları gıdanın tadına etki etmeleri gibi nedenler kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu durum ele alındığında zenginleştirilmiş üründeki en büyük sorun; ürünün hammaddesinin işlenmesinden tüketimine kadar işlevsel özelliklerini koruyacak şekilde kararlı ürünler elde etmek olarak görölmektedir. Gıda endüstrisinde ürünlerin organoleptik ve kalitatif özellikleri üzerinde minimum etki arayışında enkapsülasyon çok güçlü bir çözüm yolu olarak karşımıza çıkmaktadır [15, 16].

Kapsülleme işlemini bir maddenin başka bir madde içerisine hapsedilmesiyle boyutları birkaç nm/mm çapa sahip parçacıkların üretilmesi olarak tanımlanabilmektedir [17]. Bileşenlerin bir matrise gömölerek korunmasını sağlayan enkapsülasyon teknolojisinde, kapsül materyali çevresel etmenlerle bileşen arasında efektif bir bariyer görevindedir. Kapsülasyon gıda ve eczacılık dallarında fonksiyonel gıda bileşenleri, nutrasötikler ve ilaçların elde edilmesi gibi benzer amaçlar taşımasıyla birlikte; tarım, biyoteknoloji ve tekstil endüstrilerinde de kullanım alanına sahiptir.

Özellikle gıda alanında çeşitli stratejiler arasında mikro/nanoenkapsülasyon teknolojisinin yaygın kullanılmasının birçok sebebi ve yararı bulunmaktadır:

- Orijinal maddenin fiziksel özelliklerini değiştirip kullanımını daha kolay hale getirebilir. Reaktif, hassas ve uçucu bileşenlerin (vitaminler, kültürler ve aroma bileşenleri vs.) daha kararlı yapıya dönüştürülebilmesi gibi.
- Çevreden gelen etkilere (ısı, nem, hava ve ışık vs.) karşı çekirdek materyal daha iyi korunabilir.
- Ürünün doğru zamanda doğru miktarda salınımı ile kontrollü bir şekilde hedefe ulaşması sağlanabilir.
- Kötü koku ve tatta olan çekirdek malzemenin maskelenmesi sağlanabilir.
- Çekirdek malzeme gerektiğinde seyreltilse bile ürün içerisinde homojen dağılımı sağlanabilir.
- Karışım veya ürün içerisinde birbiri ile etkileşime girecek ürünlerin ayrımını sağlayabilir [16, 18].

Mikrokapsül üretimi için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler fiziksel (mekaniksel) ve kimyasal olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Dondurarak kurutma, püskürtme ile kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon işlemleri fiziksel yöntemlerden bazılarıdır. Kimyasal yöntemlere ise; lipozom/niozom kaplama, yağ asidi esterleri, jelasyon, emülsifikasyon ve solvent uçurma yöntemleri örnek olarak verilebilir.

Literatürde demirin mikroenkapsüle edilerek süt [19, 20, 21, 22, 23], peynir [24, 25, 26, 27], yoğurt [28, 29, 30], tuz [31, 32, 33], un [34, 35] gibi gıdaların zenginleştirmesinde sıkça kullanıldığı görülmektedir.

Demir oranı yüksek gıdalar (Tablo 1.1.) içerisinde özellikle kırmızı et listenin başında gelmektedir. Kanatlı etleri daha az miktarda içermektedir ancak yine de önemlidir. Bitkisel gıdalarda bulunan demir yapıca et ürünlerinde bulunan formdan farklıdır. Ancak özellikle kepekli tahıllar, arpa ve yulaf iyi bir kaynaktır. Yeşil yapraklı sebzelerde de (ıspanak, lahana ve su teresi) bol miktarda demir bulunur. Burada dikkat çeken nokta süt ürünlerinin diyetinde neredeyse hiç demir sağlamadığıdır [5].

**Tablo 1.1. Yaygın olarak tüketilen besinlerin demir içerikleri [36]**

Gıda	İçeriğindeki demir miktarı(mg/100g)
Karaciğer	3,1
Et (orta yağlı)	2,9
Tavuk	0,9
Yumurta	1,1
Balık	2,1
Ispanak	6,2
Kuru üzüm	1,8
Pekmez	2,5
Kuru baklagil	4,7
Süt, yoğurt	0,1
Portakal	0,6
Ekmek	1,1

Besinlerle vücuda alınan demir hem ve hem olmayan olarak 2 farklı formda bulunabilmektedir. Hem demir; et, kümes hayvanları ve balık tüketiminden kaynaklanan hemoglobin ve miyoglobindir. Hem olmayan demir ise daha çok; tahıllardan, bakliyalardan, baklagillerden, sebzelerden ve meyvelerden sağlanır. Hem demirin vücut tarafından emilimi daha yüksek ve yaklaşık %25 civarındadır. Demirin bağırsaklardan emilimi yapısına bağlı olduğu kadar etkileşime girdiği maddelere de bağlıdır. Emilimi artırıcı maddelerin başında askorbik asit, et, deniz ürünleri ve fermente sebzeler gelmektedir. Et kendisi demir kaynağı olmasının yanı sıra demir içeriği yüksek diğer besinlerle tüketildiğinde, besinlerdeki demirin emilimini de artırma özelliğine sahiptir. Fitatlar, demir bağlayıcı fenolikler (çay, kahve, bazı baharatlar, kırmızı şarap vs.), kalsiyum ve soya demir emilimini engelleyici bileşenlerin başında gelmektedir [5, 8].

Fitik asitin demiri inhibe edici etkisi bağırsaklarda çözünmeyen ve sindirilemeyen fitik asit–mineral kompleksi oluşturma özelliğinden kaynaklanmaktadır. Fitatlar; fitik asitin kalsiyum, magnezyum, potasyum ve demir tuzlarıdır. Kepekli tahıllar, unlar, çerezler, iyi pişirilmeyen baklagiller başlıca fitat kaynaklarıdır. Fitik asit, tahıl tanelerinde kepek kısmında birikmekte ve öğütme sayesinde miktarı önemli düzeyde azalmaktadır. Besinde yaklaşık 50 mg fitat varlığı demir emilimini %70 engellemektedir. Bu negatif etki sadece fitat miktarına bağlı olmayıp aynı zamanda fitik asit: mineral ikilisinin molar oranlarına da bağlıdır [37].



USDA, Amerikalılar için beslenme kurallarını yayınladığı çalışmada her gün en az 3 porsiyon kepekli tahıl tüketilmesi gerektiğini belirtmiştir. Tam tahılların içeriğindeki antioksidanlar, vitaminler, fitokimyasallar, lif veya iz minerallerin kalp hastalıklarına karşı koruyucu olduğu düşünülmektedir. Aynı bileşenlerle birlikte özellikle lif ve nişasta içeriğinin kanserin önlenmesinde etkili olduğu görülmektedir. Bilim insanları ayrıca insülin hassasiyetini artırma, bozuk insülin işlevini azaltma gibi özellikleriyle kepekli tahılların diyabeti önlemeye yardımcı olduğunu bildirmektedir [32, 38].

Genel anlamda biyoerişilebilirlik, bir gıdanın sindirim sistemine alınmasından sonra, gıda içerisindeki bileşenin vücut tarafından emilim miktarı olarak tanımlanabilmektedir [39]. Biyoerişilebilirlik açısından kesin sonuçlar eldesi *in vivo* deneyleri gerektirmektedir. İnsanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan bu çalışmalar; karmaşık, pahalı ve de etik sorunlar içermesinden dolayı çok tercih edilmemektedir [40]. Bunun yerine insan vücudundaki sindirimi laboratuvar ortamında simüle eden *in vitro* sistemler geliştirilmiştir. Statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılan *in vitro* sistemlerde sıcaklık, çalkalama, pH, enzim ve kimyasal kompozisyon gibi sindirimin fizyolojik koşulları taklit edilmektedir. Statik *in vitro* sindirim modelleri sindirim koşullarının gıdaya etkisini değerlendirmek ya da biyoerişilebilirliğe gıda matriksi, bileşimi, diyetetik faktörler ve uygulanan işlemlerin etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Dünya genelinde kullanılan farklı *in vitro* statik sindirim modelleri bulunmaktadır ve bu durum kıyaslanabilirliği zorlaştırmaktadır. Bu nedenle 2014 yılında INFOGEST ekibi bir protokol oluşturarak modellemede ayrılıkların giderilmesini sağlamışlardır. 2019 yılında INFOGEST 2.0 protokolünü eski modelin üzerine inşa ederek insan sindirim sistemine daha yakın bir sistem elde etmeyi amaçlamışlardır. Bu protokolün uygulanması ile çalışmalar arası kıyaslanabilirliğin artacağı düşünülmektedir [41, 42].

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Demir Mineralinin Beslenmede Yeri

Demir çok çeşitli metabolik süreçlerde rol alması sebebiyle hemen hemen her organizma için gerekli olan bir mineraldir. Bitkiler ve hayvanlar için; oksijen taşınması-depolanması, elektron transferi, oksidasyon-redüksiyon substratı olma, hormon sentezi, DNA replikasyonu, onarım ve hücre döngüsü, reaktif oksijen türlerinden koruma gibi temel biyokimyasal olaylarda rol oynar [43, 44, 45]. Söz konusu insan vücudu olduğunda ise; oksijeninin hemoglobin vasıtasıyla akciğerden dokulara taşıyıcısı, hücre elektronları için taşıma ortamı ve önemli enzim sistemlerin bir parçası olarak faaliyetlerde bulunur [8].

Demir homeostazisini sürdürmek için hücreler arası demirin alınması, taşınması, depolanması ve kullanımı arasında sabit bir denge kurulması hayati öneme sahiptir [46]. İnsan vücudu demirin aktif bir halde atılımı için tanımlanmış bir mekanizmaya sahip olmadığı için bahsi geçen dengenin kurulmasından daha çok absorpsiyon kısmı sorumludur. Koşullara ve türüne (hem ve hem olmayan demir) bağlı olmakla birlikte vücuda alınan demirin yaklaşık %5-35'lik kısmı emilebilmektedir. Tavsiye edilen günlük alım miktarı yaş grubu ve cinsiyet gibi faktörlere bağlı olarak yaklaşık 15- 25 mg/gün arasında değişmektedir (Tablo 2.1.). Üst alım limiti ise tüm gruplar için günlük tavsiye edilen alım miktarının yaklaşık 4-5 katıdır (40- 45 mg/gün) [5]. Günlük beslenmede hem demirin esas kaynakları hemoglobin ve miyoglobindir. Ki bunlar; kırmızı et, kümes hayvanları, balık tüketiminden karşılanır. Hem olmayan demir ise tahıllar, baklagiller, meyve ve sebzelerde daha çok bulunur. Hem demir diyetindeki demirin az bir kısmını temsil etmesine rağmen emilimi oldukça yüksektir (% 15-35) ve emilimi olumsuz etkileyen tek diyet faktörü kalsiyum varlığıdır. Bununla birlikte hem olmayan demirin emilimi çok daha düşüktür (%2-20) ve diğer gıda bileşenlerinin varlığı emilimi çok fazla etkilemektedir [8, 43, 44].

**Tablo 2.1. Günlük tavsiye edilen demir alım miktarı [5]**

	Günlük tavsiye edilen alım miktarı (mg/gün)	
	Erkek	Kadın
Bebekler (0-6 ay)	-	-
Çocuklar ve ergenlik çağında olanlar		
7-12 ay	11	11
1-3 yaş	7	7
4-8 yaş	10	10
9-13 yaş	8	8
14-18 yaş	11	15
19-30 yaş	8	18
Hamileler		
<18 yaş		27
19-50 yaş		22
Laktasyon dönemi		
<18 yaş		10
19-50 yaş		9

Anemi; “kandaki alyuvar sayısının düşük olduğu veya kan hücrelerinde normal miktardan daha az hemoglobin olduğu durum” olarak tanımlanmakta ve bu tarz kişilere anemik denmektedir [44]. Ülkemizde olduğu gibi dünyada da kansızlığın (aneminin) en yaygın nedeni demir eksikliği (DE)’ dir, bu durum demir eksikliği anemisi (DEA) olarak adlandırılır. Kronik kan kaybı, artan demir ihtiyacı, emilim bozukluğu gibi nedenlerle vücutta negatif demir dengesi oluşur ve bu durumda hemoglobinin sentezi depo demirden sağlanır. Demir depolarının yeterli salınımı gerçekleştirmediği durumlarda DEA ortaya çıkar. Besinsel nedenlerle oluşan demir eksikliği, vücudun bu mineral ile ilgili fizyolojik ihtiyaçlarını karşılayacak kadar miktarın diyetle alınmaması durumudur. Ve bu dünya çapında demir eksikliğinin bir numaralı sebebidir [8, 47]. Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan araştırmada,

aneminin küresel bazda 1,62 milyar insanı etkilediği, bunun popülasyonun yaklaşık %22,9-26,7'sine karşılık geldiği belirtilmiştir. Ancak Türkiye'de bu oran (%40) çok daha yüksektir [10, 49]. Araştırmaların sonuçları global hastalık ölçeğinde DE ve DEA'nın ilk 15'e girdiğini göstermektedir [50].

Ekonomik analizler DEA'nın düşük maliyetlerle önlenebileceğini göstermiş ve bu amaçla birkaç temel strateji öne sürülmüştür [50]. Stratejilerin tek başına veya farklı kombinasyonlarla uygulanmasının olumlu sonuçlar vereceği öngörülmüştür. Yöntemlerden ilki demir alımı ve biyoyararlanımı artırmak için beslenme eğitimlerinin gerçekleştirilmesidir. Başka bir yöntem takviye olarak bilinen genellikle daha yüksek dozlarda gıdasız demir alımının sağlanmasıdır. Gıdaların zenginleştirilmesi ya da daha yeni bir yaklaşım olan biyozenginleştirme de uygun görülen stratejilerdendir [44]. Diğer stratejilere kıyasla gıdaların zenginleştirilmesi, daha güvenilir, esnek, sosyal olarak kabul edilebilir ve etkili bir yaklaşımdır. Ekonomik olarak ele alındığında ise; zenginleştirmenin yapılacağı bölgenin coğrafi konumuna bakılmaksızın çok daha uygun maliyetli bir seçenektir. Gıda zenginleştirmenin ilk aşaması mikro besin için araç olacak bir gıda seçimidir ve bu popülasyonun çoğunun diyetinin ayrılmaz bir parçası olmalıdır [51]. Dünya çapında geleneksel olarak tüketilen temel gıdalar zenginleştirme için çok iyi birer kaynak olarak görülmektedir. Buğday unu, mısır unu, pirinç, tuz başta olmak üzere süt, yoğurt, şeker gibi nüfusun çoğunun daha kolay erişimi olan temel gıdalar demir takviyesi için sıklıkla kullanılmaktadır [52, 53]. Dünyada hali hazırda 85 ülke buğday ununun (ve mısır unu/pirinç) demir veya folik asitçe takviye edilmesini yasallaştırmış durumdadır. Endüstriyel olarak öğütülen buğday ununun yaklaşık %30, mısır ununun %30 ve pirincin %1'inin yasal yollarla ya da gönüllülük esasıyla bu iki besin ögesi bakımından zenginleştirildiği düşünülmektedir [54].

## **2.2. Biyoerişilebilirlik Kavramı ve Demir Mineralinin Biyoerişilebilirliği**

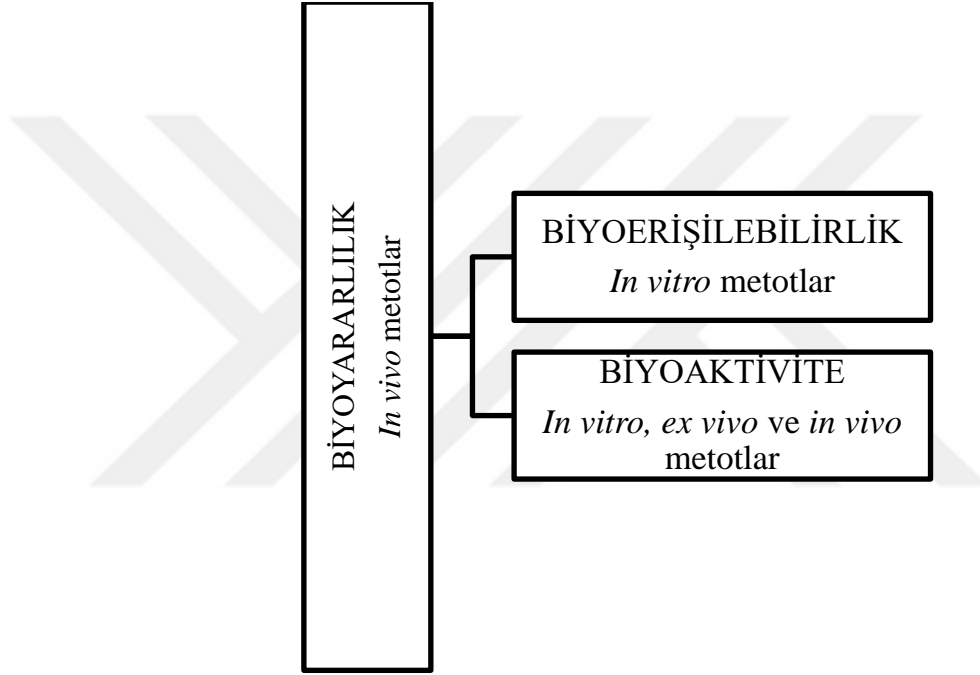
Biyoerişilebilirlik ve biyoyararlılık sıklıkla birbiri yerine kullanılan ve literatürde birçok tanımı bulunan kavramlardır. Ancak genelde biyoerişilebilirlik ve biyoaktivite, biyoyararlılığın anlaşılmasında kullanılan iki olgudur [55]. FDA (2003), ilaçlar için biyoyararlılığı "bir ilaç ürününden emilen aktif bileşen veya aktif parçanın, etki alanında kullanılabilir durumda olan miktarı ve derecesi" olarak tanımlamaktadır.

Bu tanım aynı zamanda gıdalar için de kullanılabilir [56, 57]. Biyoerişilebilirlik ise biyoyarayışlılık için ilk basamaktır [58]. Biyoerişilebilirlik; bileşenin gastrointestinal sistemde gıda matrisinden salınan ve bağırsak emilimi için uygun hale gelen miktarıdır [57, 59].

Bir biyoaktif bileşenin potansiyel sağlık yararlarına karar vermeden önce, sindirim sürecinin biyoaktif bileşen ve stabilitesi üzerindeki etkilerini tespit etmek gereklidir. Kısacası bu durum bizleri herhangi bir bileşenin biyoyararlılığını saptamanın, onun gıdada bulunma miktarını saptamaktan çok daha önemli olduğu sonucuna götürmektedir [59, 60]. Hemen hemen bütün durumlarda bir besleyici ögenin biyoerişilebilirlik ve biyoyararlanımı fiziksel, kimyasal ve enzimatik sindirim süreçlerini etkileyen gıda matrisi tarafından kontrol edilir [57].

Besinlerin biyoyararlanımının tahmin edilmesinde kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır (Şekil 2.1.). *İn vivo* yöntemler daha çok insan kan plazmasındaki ölçümlere dayanırken; *in vitro* yöntemlerde ise laboratuvar ortamında simüle edilmiş deneylerle ölçüm yapılmaktadır. *İn vivo* yöntemler; biyoyararlanım konusunda kesin veriler ve daha çok besin grubu hakkında sonuç sağlamaktadır. Bu yöntemlerde genellikle bir besin maddesini tüketimi takiben insan veya hayvanların vücudunda oluşan tepki ölçülerek gıda kaynağındaki eşdeğer besin dozu ile karşılaştırılması yapılmaktadır. Ancak bu çalışmalar daha fazla maliyet ve zaman gerektirmektedir. Bununla birlikte *in vivo* biyolojik çalışmalarda etik kısıtlamalar ve ciddi protokol uygulamaları da kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu nedenlerle *in vivo* yöntemlere alternatif olarak nispeten daha hızlı, ucuz, tekrarlanabilir ve etik kısıtlamaları olmayan *in vitro* yöntemler yaygın kullanım alanı bulmuştur. *In vitro* yöntemlerde ya sindirim ve emilim (biyoyararlanım için) ya da sadece sindirim (biyoerişilebilirlik için) işlemleri simüle edilerek besinlerin son adımdaki konsantrasyonları ölçülmektedir. *In vitro* yöntemlerin bir çeşidi olan gastrointestinal modeller (GIM), laboratuvar ortamında gastrointestinal sindirim sürecini simüle eden yöntemlerdir. Bu modellemenin temeli ağız, mide ve ince bağırsak ortamlarının çiğneme, sindirim ve emilim sürecindeki fizyolojik koşulların yeniden oluşturulmasıdır [57, 61]. GIM'ler kendi içerisinde statik ve dinamik olmak üzere 2 geniş kategoriye ayrılmaktadır. Statik *in vitro* sindirim modellemelerde sindirim sistemindeki (ağız boşluğu, mide ortamı ve bağırsak lümeni) biyokimyasal olaylar

sırasıyla taklit edilirken peristaltik hareketin taklit edilmesi için biraz çalkalama uygulanır. Ancak bu çalkalama işlemi yalnızca reaksiyonların ilerlemesi için sıcaklık ve pH ile birlikte bir koşul olarak uygulanır. Dinamik metodolojiler ise her ana sindirim aşamasında koşulların değişimini hesaba katarak sindirimin daha gerçekçi anlaşılmasını amaçlamaktadır. Bu yöntemde çeşitli *in vivo* etmenlerin (kesme, karıştırma, peristaltik hareketler vb.) sindirime etkisi analizlere dahil edilmeye çalışılır. Diğer bir ifade ile enzimlerin konsantrasyonu, pH, viskozite, partikül boyutu gibi başlıca özellikler analizlerin her aşamasında sabit tutulmaz [55].



**Şekil 2.1. Biyoyararlılık tespitinde kullanılan yöntemler [61]**

Bir gıda maddesinin tüketimini takiben sindirim sonrası besinler mideye geçer ve ince bağırsakta birçok mineralin emilimi gerçekleşir. Vücudun farklı fonksiyonlar için ihtiyaç duyduğu mineraller emildikten sonra aktif veya pasif şekilde kan dolaşımına taşınır [61]. Diğer pek çok mineralde olduğu gibi demir emilimi hayati önem taşırsa da günlük diyet ile alınan demirin önemli bir kısmının emilimi gerçekleşmez [62]. Emilimde rol oynayan en önemli mekanizma demirin formudur. Diyetle alınan demir hem demir ve hem olmayan demir olmak üzere iki ayrı formda bulunur. Hem demirin asıl kaynağı hemoglobin ve miyoglobindir. Bu yüzden sadece hayvansal kökenli (kırmızı et, iç organlar, balık, deniz ürünleri gibi) gıdaların

tüketilmesi ile alınır ve biyoyararlılığı (%15-35) ikinci türe kıyasla daha yüksektir. Beslenme ile daha çok alınan demir türü hem olmayandır. Bitkisel ürünlerde (sebzeler, kuruyemişler, tahıllar, yağlı tohumlar) ve hayvan dokularında bulunur. Hem demirin emiliminde yalnızca tüketilen et ve beraberinde vücuda alınan kalsiyum miktarı rol oynarken; hem olmayan demir için birçok faktör söz konusudur. Özellikle C vitamini biyoerişimi artıran besinsel öğelerin başında gelmektedir. Buna karşılık başta fitat olmak üzere; demir bağlayıcı fenolik bileşikler (gallol grubu içerenler), kalsiyum ve soya emilimi inhibe eden bileşenlerdir [8, 63].

Son yıllarda birçok araştırmacı çalışmalarını biyoaktif gıda bileşenlerinin biyoyararlanımını ve biyoyararlanımlarında değişikliğe neden olan faktörleri tanımlamak alanında yoğunlaştırmıştır. Bununla birlikte biyoyararlanımı artırmak üzerine çeşitli yaklaşımlar ve nanopartikül uygulaması gibi konular önem kazanmıştır [64]. Tablo 2.2.'de özellikle tahıl alanında yapılan biyoerişilebilirlik çalışmalarından örnekler bulunmaktadır.

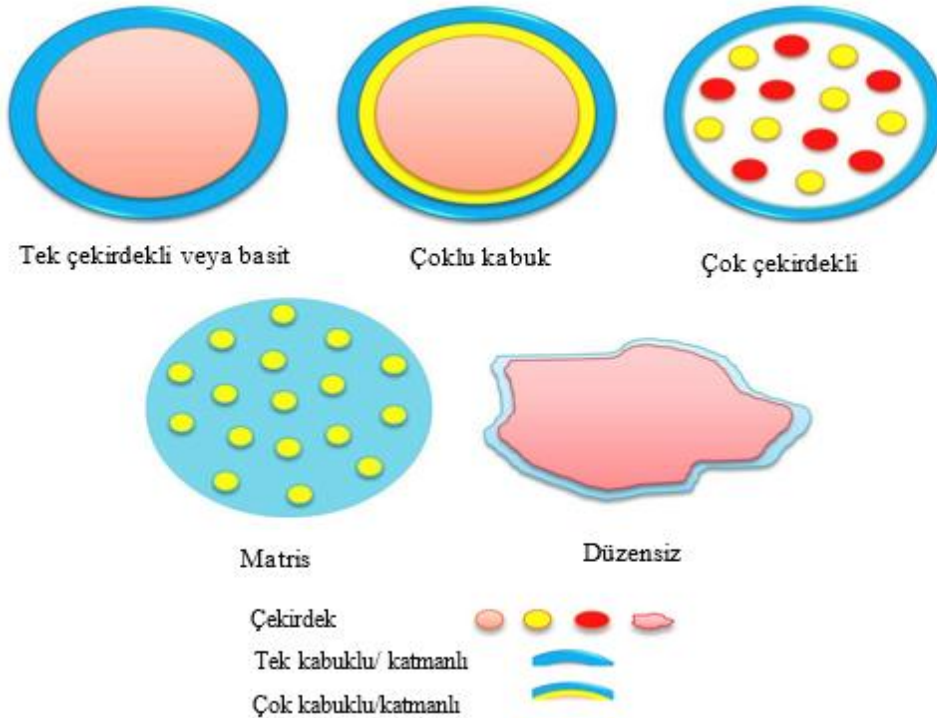
**Tablo 2.2. Tahıl ürünlerinde biyoerişilebilirlik çalışmaları**

Kaynak	Çalışma hakkında bilgiler
[65]	Tahıl, baklagil, pirinç, kabuklu kuruyemiş gibi yaygın olarak tüketilen gıdalarda Fe, Zn, Ca ve Mg biyoerişilebilirlikleri saptanmıştır. Kaju ve yeşil mercimek en yüksek Fe içeriğine sahipken, Zn en fazla içeren gıdalar Kaju ve karabuğday olarak saptanmış. Çalışma neticesinde biyoerişilebilir minerallerin en iyi kaynakları, baklagiller ve kuruyemişler olarak ifade edilmiştir.
[66]	Geliştirilmiş Ekstrüzyon Pişirme İşleminin (IECT) fenolikler üzerindeki etkisini ve kahverengi pirinç, buğday ve yulaf ile elde edilen tahıllardaki biyoerişilebilirliği araştırılmıştır. Araştırma IECT'in, tahıl, fenolik erişilebilirliğini büyük ölçüde etkilediğini göstermiştir.
[67]	Zimbabve'de bulunan 5 yabancı ve 2 yerel hububat tanesi, <i>in vitro</i> model kullanılarak fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliği açısından incelenmiştir. Sonuçlar, genel olarak daha yüksek lif içeriğine sahip tahıl tanelerinin daha düşük seviyelerde biyoerişilebilirliğe sahip olduğunu göstermiştir.
[68]	Asya ve Afrika'da yaygın olarak tüketilen tahılların polifenol biyoerişilebilirliğine tüketim öncesi uygulanan işlemlerin etkisi incelenmiştir. Bu işlemlerden özellikle filizlendirme ve kavurmanın biyoerişilebilir fenolik miktarının artırdığı görülmüştür.
[69]	Makarnalık buğdayın aleuron tabakasının farklı fraksiyonlarının tiamin, niasin ve fenolik asitlerin <i>in vitro</i> biyoerişilebilirliği değerlendirilmiştir. Aleuron iç kısmındaki fenolik asit ve vitamin biyoerişimi dış fraksiyon ve kepeğe göre daha yüksek çıkmıştır.
[17]	Yaygın olarak tüketilen tahıl, bakliyat ve yeşil yapraklı sebzelerde ısıtılma işleminin selenyum biyoerişilebilirliği üzerine etkisi incelenmiştir. Selenyumun tahıllardaki biyoerişilebilirliği %10-24, bakliyatlarda %12-29 sebzelerde ise %10-31 arasında bulunmuştur. Isıtılma işlemi ise bunları önemli ölçüde azaltmıştır.



### 2.3. Enkapsülasyon Teknolojisi ve Biyoerişilebilirliğe Etkisi

Enkapsülasyon genel olarak katı, sıvı ya da gaz molekülün bir çeşit matriks içerisine gömülmesi ile boyutları birkaç nanometreden birkaç milimetreye kadar değişebilen partiküllerin oluşturulması işlemidir. Kapsüllenen materyale aktif madde, dolgu, iç faz, çekirdek materyal gibi isimler verilirken; kapsül materyali ise kaplama, kabuk, taşıyıcı membran, duvar materyali, matriks ya da dış faz olarak adlandırılmaktadır [71, 72] Söz konusu matriks kullanılan yöntem ve materyallere bağlı olarak; tek çeşit ya da birkaç çeşit maddeden (protein, polisakkarit, surfaktan, yağ, su, mineral vs.) oluşabilirken, basit (homojen) veya karmaşık (heterojen) yapıda olabilmektedir [24]. Kapsüller morfolojilerine göre polinükleer, mononükleer ve matris olarak 3'e ayrılmaktadır (Şekil 2.2.) [74]. Mikrokapsül üretimi için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler fiziksel (mekaniksel) ve kimyasal olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Dondurarak kurutma, püskürtme ile kurutma, akışkan yatak kaplama, ekstrüzyon işlemleri fiziksel yöntemlerden bazılarıdır. Kimyasal yöntemlere ise; lipozom/niozom kaplama, yağ asidi esterleri, jelasyon, emülsifikasyon ve solvent uçurma yöntemleri örnek olarak verilebilir (Tablo 2.3.) [75].



Şekil 2.2. Morfolojilerine göre kapsül yapıları [74]

**Tablo 2.3. Enkapsülasyon tekniklerinin sınıflandırılması**

Fiziksel/ Mekaniksel Teknikler	Kimyasal Teknikler
✓ Dondurarak kurutma	✓ Lipozom kaplama
✓ Akışkan yatak kaplama	✓ Niozom kaplama
✓ Sprey kurutma	✓ Yağ asidi esterleri
✓ Sprey dondurma / soğutma	✓ Koaservasyon
✓ Ekstrüzyon	✓ Modifiye solvent uçurma
	✓ Emülsifikasyon
	✓ Jelasyon

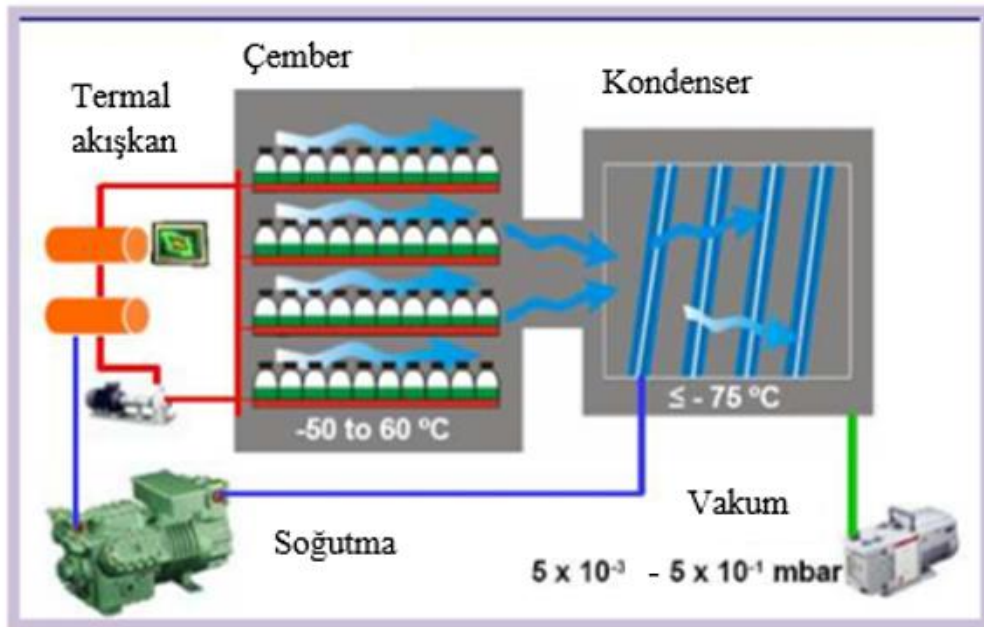
Mikrokapsülasyon teknolojisinin başlangıcı 1956 yılında Green ve Lowell'in karbon kağıdının yerini almak üzere tasarladıkları kağıtta, kopyalama amacıyla boya içeren kapsüllerin kağıda entegre edilmesi ile ortaya çıkmıştır [76, 77]. İlaç endüstrisi uzun yıllardır yaygın bir şekilde bu teknolojiden faydalansa da sırasıyla gıda, kozmetik, tekstil, biyomedikal, tarım, elektronik endüstrileri de sıklıkla mikrokapsülasyon uygulamasını araştırmaya ve uygulamaya başlamıştır. Gıda endüstrisi mikrokapsülasyon teknolojisinin ilerlemesi ve araştırılmasında ekili olan ikincil güçtür. Son yıllarda gıda kavramının gittikçe değişmesiyle birlikte; beslenmenin yalnızca yaşamın devamlılığı için değil zihinsel ve bedensel sağlık için önemi anlaşılmaya başlandı. Talepkar tüketicilerin, ürün gereksinimlerinin ve fonksiyonel gıda arayışının giderek artması gıda sektörünü bu uygulamaya daha çok yönlendirmektedir. Biyoaktif bileşenlerin genelde çevresel/işleme koşullarında kararsız olmaları ve gastrointestinal koşullarda bozulma eğiliminde olmaları daha etkili koruma sorununu beraberinde getirmektedir [78, 79]. Ancak kapsülasyon teknolojisinin uygulanması için daha başka birçok sebep vardır. Bunlar [76, 80];

- Daha iyi işlenebilirlik (çözünürlük, dağılılabirlik ve akışkanlığı iyileştirme).
- Kontrollü, sürekli veya zamanlı salınım.
- Toksik materyallerin güvenli ve uygun kullanımı.
- Koku veya tadı maskelemek.
- Enzim ve mikroorganizma immobilizasyonu.
- Kontrollü ve hedefe yönelik ilaç teslimi.
- Sıvıları katı formda kullanma
- Bozunma reaksiyonlarını önlenmesi (oksidasyon, rehidrasyon vs.)

- Mikrokapsüllenmiş bileşenler işlem sırasında herhangi bir zamanda eklenebilmesi ve değişmeden kalabilmesi.

### 2.3.1. Dondurarak Kurutma

Liyofilizasyon olarak da bilinen dondurarak kurutma özellikle enzim, aroma ve vitamin gibi ısıya duyarlı bileşenlerin kapsülasyonu için en uygun yöntemlerden birisidir. Dondurarak kurutma temelinde suyun buz halinden süblimasyon yoluyla uzaklaştırılması işlemidir. Bu süreçte gıda örneği önce dondurulur, ardından yüksek vakuma tabi tutularak suyun erimeden doğrudan buharlaşması sağlanır (Şekil 2.3.). Kurutma periyodunun uzun süreler gerektirmesine rağmen (genelde 20 saat) oldukça basit bir işlemdir [72, 81]. Genellikle donma, birincil kurutma (ana kurutma, süblimasyon kurutma) ve ikincil kurutma (desorpsiyon kurutma) olmak üzere 3 aşamadan oluşmaktadır [82]. Dondurarak kurutma işlemi başarılı gerçekleştirilen bir hammadde şekil, görünüm, tat, renk, lezzet, doku ve biyolojik aktivite gibi birçok özelliğini koruyarak son ürüne dönüşmektedir [83].

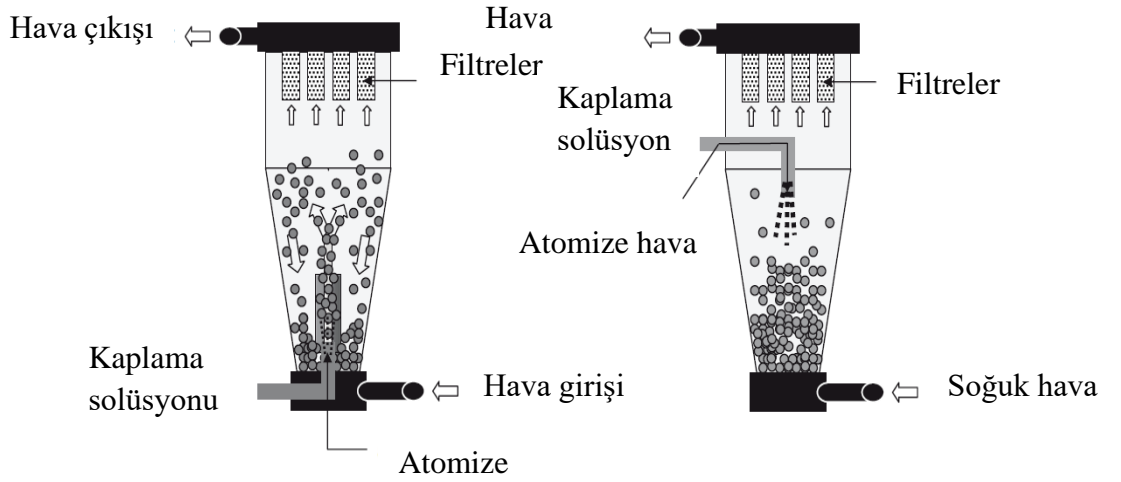


Şekil 2.3. Dondurarak kurutma işleminin temel prensibi [84]

### 2.3.2 Akışkan Yatak Kaplama

Başlangıçta farmasötik uygulamaları için geliştirilen akışkan yatak kaplama yöntemi aynı zamanda hava süspansiyonlu kaplama, akışkanlaştırılmış yatak işleme veya sprey kaplama olarak da bilinmektedir. Kesikli ve sürekli olmak üzere 2 ayrı çalışma şekliyle yöntemi uygulamak mümkündür [72, 85]. Yöntem bir gaz akışındaki parçacıkların ayrılması prensibine dayanmaktadır [86]. Toz partiküller, sıcaklık ve nemin kontrollü olduğu hava akımı sayesinde asılı tutulur. Kaplama malzemesinin atomize edilmesiyle her partikül kademeli olarak kaplanır. Pompalama ve atomize edilebilmesi için kaplama malzemesi kabul edilebilir viskozite, termal kararlılık ve partikül yüzeyinde film oluşturma gibi özelliklere sahip olmalıdır. Çekirdeğin kaplanma oranı genel olarak parçacık boyutuna ve uygulamaya bağlı olmakla birlikte %5-50 aralığındadır [71, 72].

Şekil 2.4.'de görsel olarak anlatımı gerçekleştirilen akışkan yatak kaplamada ilk aşama, kaplama odasında kaplanacak partiküllerin bir hava akımı yardımıyla akışkanlaştırılmasıdır. Daha sonra, kaplama malzemesi parçacıklara bir nozul ile püskürtülür. Son olarak, kaplama malzemesinin çözücüsü sıcak hava ile buharlaştırılır ve bu nedenle kaplama malzemesi parçacıklara yapışır [74].

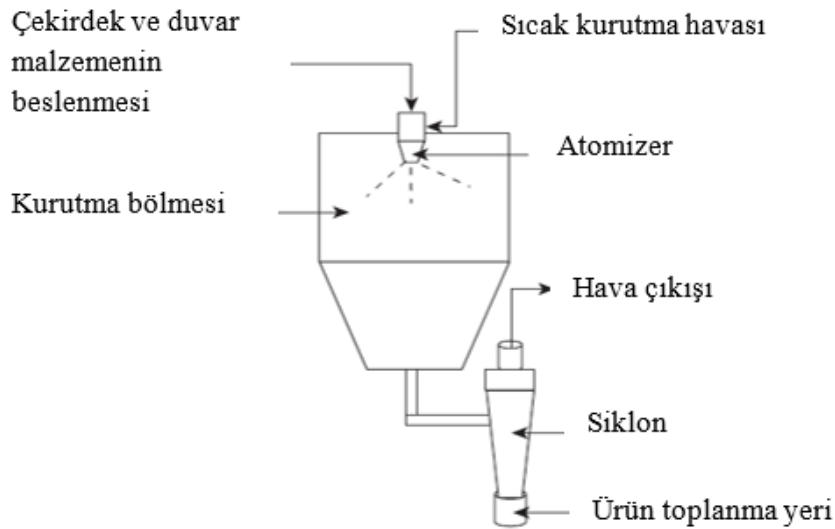


Şekil 2.4. Akışkan yatak kaplama işleminin temel prensibi [71]

### 2.3.3. Sprey Kurutma

Temeli 1950li yıllara dayanan sprej kurutma ile kapsülleme fonksiyonel gıda bileşenlerinin mikroenkapsülasyonunda en yaygın kullanılan tekniklerdendir [24, 72]. Gıda endüstrisinde yaygın kullanılma nedenlerinin başında sürekli, basit ve düşük maliyetli olması gelmektedir [85]. Özellikle aroma, lipit ve karotenoidlerin kapsüllemesinde sıklıkla tercih edilen bu işlemin diğer bir avantajı ise kurutmanın çok kısa (genellikle 15-30 s) sürmesidir [87, 88].

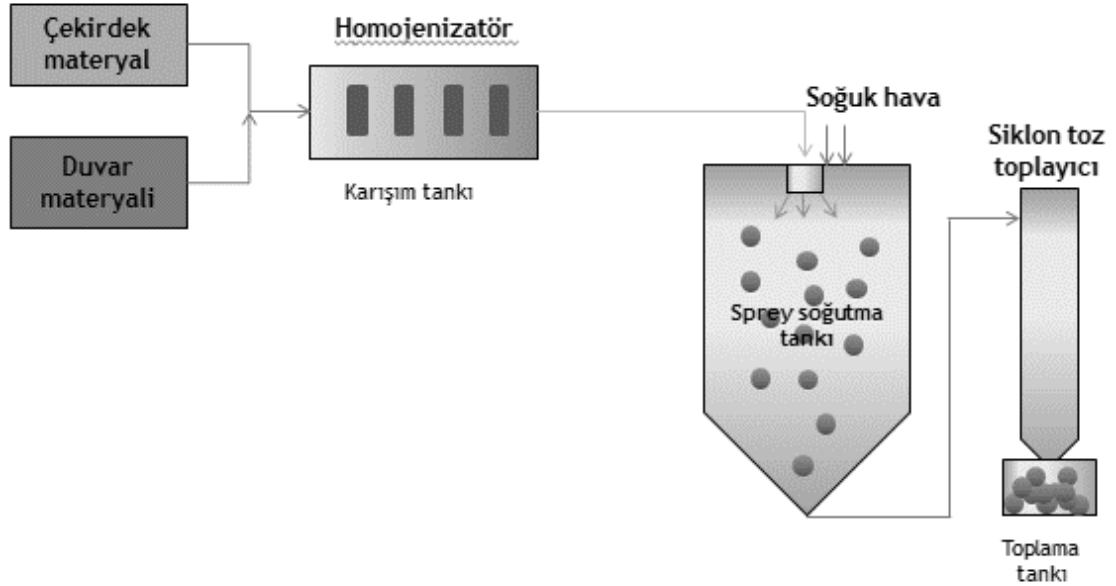
Püskürtme ile toz partiküllerin eldesi; bir sıvıdan damlacık oluşumu ve bunu takiben çözücünün uzaklaştırılması prensibine dayanan bir katılaştırma işlemidir (Şekil 2.5.) [89]. Sprej kurutma ile enkapsülasyon işlemi geleneksel kurutma işlemine benzemektedir. Ancak kapsülasyonda besleme çözeltisinin oluşturulması, çekirdeğin duvar materyalinin sulu formu içerisinde çözündürülmesi, emülsiyonlaştırılması ve dağıtılmasını içeren daha karmaşık bir adımdır [82]. İşlemin sınırlandırıcı yönü ise kabuk malzemesinin seçimidir. Besleme formülasyonunun sulu çözeltilerden oluşması kabuk malzemesinin kabul edilebilir bir seviyede suda çözünürlüğünün olmasını zorunlu kılmaktadır [72].



Şekil 2.5. Sprej kurutma işleminin temel prensibi [82]

### 2.3.4. Sprey Dondurma/Soğutma

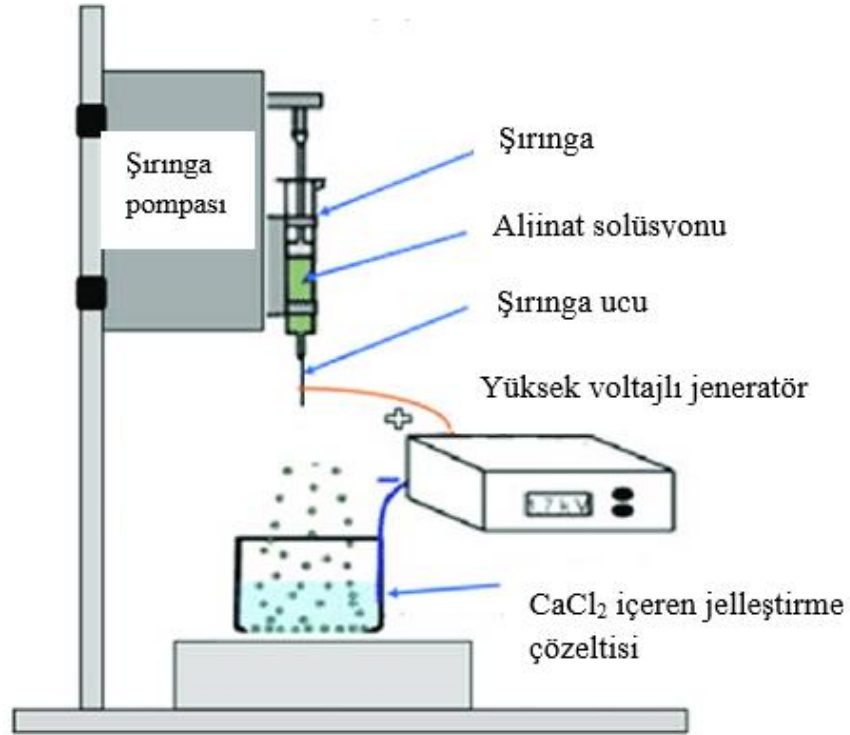
Gıda bileşenlerinin mikroenkapsülasyonunda en umut verici metotlardan biri olarak görülen bu teknik literatürde sprej dondurma, soğutma, katılaştırma ve tanecikleştirme isimleriyle anılmaktadır [74]. İşlem koşullarının rahat olması, uçucu bileşenlerin iyi muhafaza edilmesi ve büyük ölçekli üretim gibi avantajlara sahip olan sprej soğutma ilaç ve gıda sektörlerinde yaygın kullanıma sahiptir [90]. Temel prensibi sprej kurutmaya benzer şekilde püskürtülen sprej maddesini partiküller halinde katılaştırmadır. Sprej soğutmada ekipmanlar da çoğunlukla sprej kurutmaya benzerlik göstererek; atomizasyon kaynağı, partikül oluşturma odası ve toplama bölgesinden meydana gelmektedir [91]. Ancak sprej kurutmanın aksine buharlaştırılacak su burada yoktur. Çekirdek ve duvar materyali karışımı soğutulmuş havanın olduğu odaya atomize edilir ve bu soğukluk duvarın çekirdek etrafında katılaşmasını sağlayarak kapsül yapısını meydana getirir [92]. Sprej dondurmanın temel ekipman ve işlemleri Şekil 2.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Sprej dondurma işleminin temel prensibi [93]

### 2.3.5. Ekstrüzyon

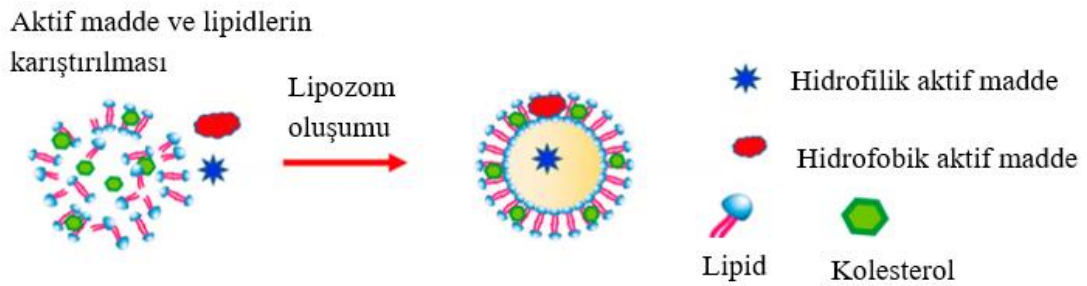
Aktif bileşenlerin ekstrüzyon tekniği ile kaplanması son yıllarda büyük önem kazanmıştır [94]. Burada uygulanan ekstrüzyon işlemi tahıl bazlı ürünlerin pişirilmesi ve tekstüre edilmesi için kullanılan ekstrüzyondan oldukça farklı bir işlemdir [72]. Şekil 2.7.'de basitçe gösterildiği gibi yöntemde kapsül tanecikleri temel olarak, aktif bileşiklerle karıştırılmış taşıyıcı çözeltinin bir nozulden jelleşme ortamına geçirilmesi ile oluşmaktadır [74]. Çoğunlukla uçucu ve kararsız bileşenlerin kapsüllemesi için kullanılan ekstrüzyonda, çekirdek malzeme erimiş karbonhidrat çözeltisi içinde bir dizi kalıptan geçirilerek dehidrasyon sıvısına zorlanır. İşlem sırasında basınç ve sıcaklık genellikle 100 psi ve 118°C'nin altında tutulduğu için ısıya duyarlı bileşenlerde kullanımı büyük bir avantaj sağlamaktadır [74, 87, 89]. Yöntemin ana avantajı ise duvar materyalinin çekirdek bileşenin neredeyse tamamını kaplamasıdır [24, 72, 89]. Bu şekilde ürüne oksidasyona karşı çok iyi bir bariyer sağlayarak raf ömrünü uzatır ve kalite kayıpları yaşamadan ürünün 1-2 yıl kadar saklanabilmesini sağlar [72, 94, 95].



Şekil 2.7. Ekstrüzyon işleminin temel prensibi [96].

### 2.3.6. Lipozom Kaplama

Önceleri ilaç endüstrisi için geliştirilen ve günümüzde kozmetik, gıda alanlarında da kullanılmaya başlayan lipozomlar; sulu bir fazın tamamen fosfolipid bazlı bir zar tarafından çevrelenmesi ile oluşmaktadır [72, 75, 97]. Lipid ve fosfolipid molekülleri sulu bir ortamla temas ettiğinde hidrofobik moleküllerinin su molekülleri ile temasını en aza indirmeye çalışır. Sisteme yeterli enerji verildiğinde lipid/ fosfolipid molekülleri lipozom ya da lipid vezikülü olarak adlandırılan çift tabakalı, sürekli ve kapalı yapının oluşumuna sebep olur [98, 99]. Fosfolipid ve su yapıları arasındaki olumsuz etkileşim gereği fosfolipid membranlar kendiliğinden oluşma eğilimindedirler. Bu eğilim sayesinde lipozomlar az enerji girişi ile oluşturulabilmektedir [100]. Biyoaktif bileşenlerin kapsülasyonunda lipozom yönteminin kullanımının başka bir avantajı ise lipozomların tamamen doğal ya da vücudumuzda bulunan yerli bileşenlerle hazırlanabilmesidir [98]. Doğal fosfolipidlerin toksik olmaması, biyolojik olarak uyumlu ve bozunabilir olması lipozomları özellikle ilaç sektöründe uygun birer nano taşıyıcıya dönüştürmüştür [101]. Hem lipofilik hem hidrofilik bileşenlerin kapsülasyonu için cazip bir yöntem olmasına rağmen; fosfolipid zarların çekirdek materyali yüksek verimle yakalaması, doğru boyut ve yapıda olması, gereken süre boyunca çekirdeğe tutulu halde bulunması sistemin başlıca zorlukları olarak görülmektedir [99, 100]. Lipozom kaplama yöntemi ile mikrokapsül eldesinin görsel anlatımı Şekil 2.8.'de ifade edilmiştir.



Şekil 2.8. Lipozom kaplama ile enkapsülasyon [102]

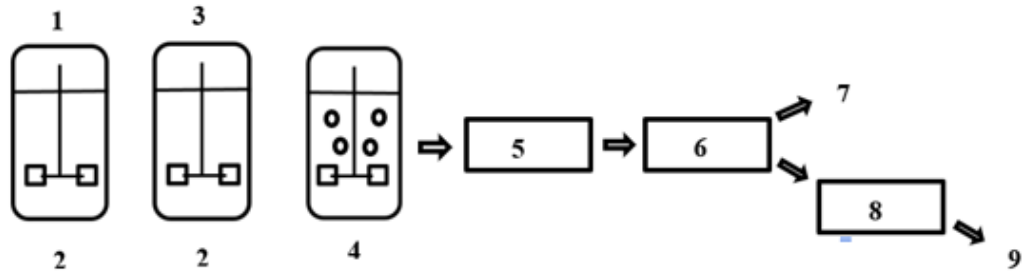


### 2.3.7. Koaservasyon

Koaservasyon metodu mikro ve nanokapsülasyon teknolojisinde gıda, ilaç ve kozmetik alanlarında en fazla kullanılan yöntemlerden birisidir [85, 103]. Koaservasyon terimi kimyada ortamın pH'sını, iyonik gücünü, sıcaklık ve çözünürlüğünün değiştirilerek faz ayrılmasını ifade etmektedir. Yöntem, uygulanan biyopolimer sayısına göre 2'ye ayrılmaktadır. Faz ayrımı tek bir polimer sisteminde gerçekleşirse basit, iki veya daha fazla sistem arasında gerçekleşirse karmaşık koaservasyon olarak adlandırılır [104, 105]. Basit koaservasyon maliyet ve esnek proses açısından karmaşık koaservasyona göre birtakım avantajlara sahiptir. Basit yöntemde faz ayrımı ucuz inorganik tuzlarla gerçekleştirilebilirken karmaşık yöntemde nispeten daha pahalı hidrokolloidlere ihtiyaç duyulur ve sistem ufak pH değişimlerine bile duyarlılık gösterir [106]. Koaservasyon yöntemi ile kapsülasyon 3 temel aşamadan oluşmaktadır [74];

1. Birbiri ile karışmayan 3 fazın oluşturulması: çekirdek malzeme, kaplama malzemesi ve sürekli sıvı faz bu aşamada karıştırılma sırasında oluşur ve birbirinden ayrılır.
2. Duvar malzemesinin çekirdek damlacıklarının etrafında birikmesi: çekirdek malzeme damlacıkları üzerindeki hidrofilik fazın yüzeyler arası sorbsiyonuyla gerçekleşir. Bu aşamada çözeltinin pH ve sıcaklığı ayarlanarak çekirdek materyal etrafında damlacıkların koagüle olması ve duvar materyalinin oluşumu sağlanır.
3. Büzülme ve katılma: Isıtma, desolvasyon, çapraz bağlama gibi teknikler kullanılarak katı formda kapsüller elde edilir.

Koaservasyon süreci; Kabuk polimer çözeltisinde çekirdek malzemenin dağılımı, koaservatın çözeltiden ayrılması, çekirdek malzemenin mikro koaservat damlacıkları ile kaplanması Şekil 2.9.'da şematize edilmiştir.



1: %76 su, %2 jelatin, %2 arabik gum  
içeren kaplama materyali  
2: Ortam: pH >7, sıcaklık=50°C  
3: %20'lik aroma çözeltisinin  
eklenmesi  
4: Ortam: pH > 4, sıcaklık <10 °C

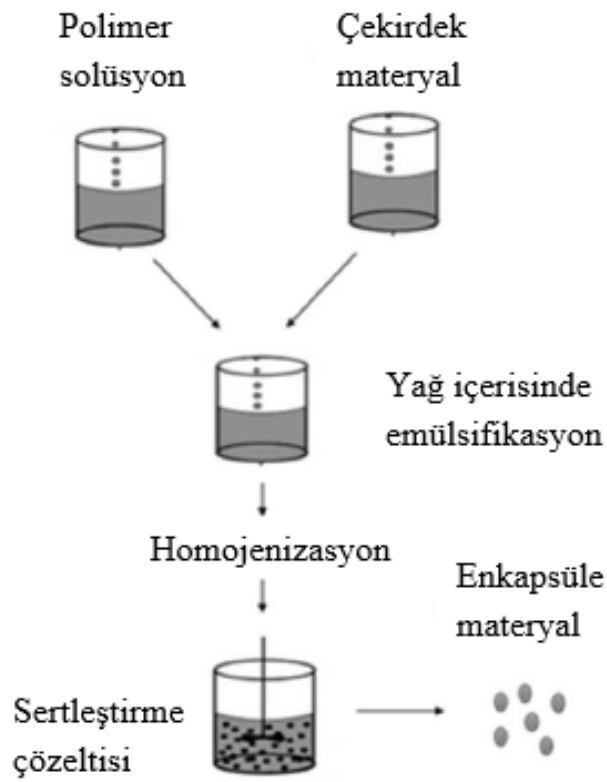
5: Sertleşme  
6: Filtrasyon ve yıkama  
7: Koaserve ürün (ıslak, lapa halde)  
8: Kurutma  
9: Koaserve ürün (toz)

**Şekil 2.9. Koaservasyon ile enkapsülasyon [94]**

### 2.3.8. Emülsifikasyon

İlk olarak yaklaşık 65 yıl önce tanıtılan emülsifikasyon metodu, birbiri içerisinde karışmayan iki sıvıdan birinin diğeri içerisinde dağıtılması işlemidir [90, 107, 108]. Günümüzde kullanım alanları oldukça yaygın (kuru temizleme sıvıları, metal geri kazanımları, boyalar, kozmetik, tarım, içecekler, ilaç vs) olan bu yöntem; ayrıca sprey kurutma, dondurarak kurutma gibi bazı kapsülleme yöntemlerinin ön adımı olarak da kullanılabilir. Temelde bir emülsiyon sistemi yağ ve su olmak üzere 2 ana bileşen içermektedir. Bu sistemlerin sınıflandırması dağılmış faza uygun olarak yapılır. Yağ su içinde dağıldığında, su içinde yağ (O/W) aynı şekilde su yağ fazı içerisinde küçük parçacıklar halinde dağılıyorsa, yağ içinde su (W/O) olarak adlandırılmaktadır [74, 85, 107]. Sistemin dezavantajlarından biri olan kinetik olarak kararsız yapıda olmaları sebebiyle, emülsiyonlara yaygın olarak emülsifiyerler veya doku değiştiriciler eklenmektedir. Sisteme ilave edilebilen stabilizatörler ise partiküllerin daha kararlı bir hal almasına yardımcı olmaktadır. İşlem mekanik çalkalama sayesinde partiküllerin dönüşüm ve dağılımını içeren iki aşamadan oluşmaktadır (Şekil 2.10.). Bu şekilde oluşturulan yeni emülsiyon fazı kolloidal karıştırma ya da homojenizasyon gibi işlemler ile daha küçük partiküllere

dönüştürülerek stabilize edilir [90]. Yüksek enerjili emülsiyon yaklaşımında uygulanan ultrasonikasyon, yüksek hızlı veya yüksek basınçlı homjenizasyon benzeri işlemler kararlılık, optik berraklık, salınım kontrolü açısından daha üstün ultra ince emülsiyonların oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Düşük enerjili yaklaşımda ise; özel dizayn edilmiş pahalı ekipmanlara gerek duyulmadığı için düşük maliyetlidir, az enerji gerektirir ve hazırlığı kolaydır. Ancak fazla miktarda stabilizatör gerektirmesi, oluşan kapsüllerin yüksek sıcaklıklarda kararsız olması, sınırlı tipte yağ ve surfaktan madde kullanılabilmesi düşük enerjili sistemlerde sorun teşkil etmektedir [74, 85, 109, 110, 111].

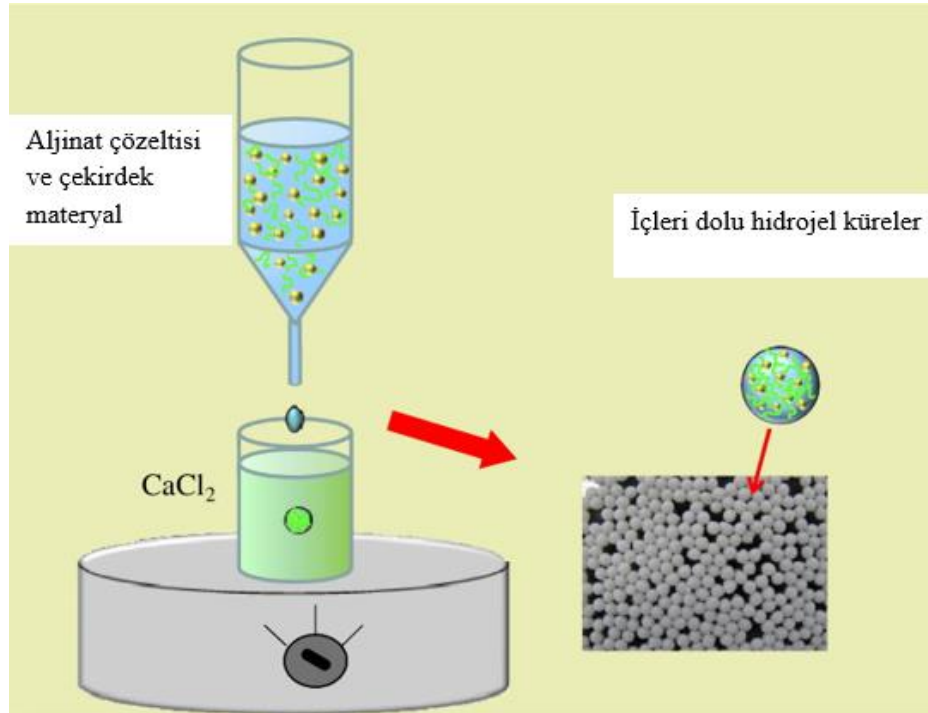


**Şekil 2.10. Emülsifikasyon ile enkapsülasyon [96]**

### 2.3.9. İyonik Jelasyon (Damlatma)

Kapsüllenmiş materyal eldesinde en basit yöntemlerden birisi olan jelasyon, damlatma yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde biyopolimerlerin iyonik veya termal yollarla jel oluşturma yeteneği kullanılmaktadır ve sonuçta elde edilen

kapsüller aktif maddeyi tutan biyopolimer jel ağundan oluşmaktadır. Diğer bir ifadeyle biyopolimer çözelti sistemde kapsül kabuğunu oluşumundan sorumludur. Jel oluşumunun iyonik yol ile gerçekleşmesine kalsiyum iyonları ve aljinat çözeltisi arasındaki etkileşim örnek gösterilebilirken; sıcak agaroz çözeltisinin soğutma esnasında jelleşmesi ise termal yol ile oluşuma örnek olarak verilebilmektedir. Temelde bir jelasyon prosedürü Şekil 2.11.'de gösterildiği şekilde; sulu biyopolimer çözeltisinin oluşturulması, çekirdek materyalin bu çözeltide dağıtılması ve çözülmesinden oluşmaktadır [89, 112]. Aktif materyalin çözeltide süspansiyon edilmesini takiben karışımın kılcal bir kanaldan düşük hacimsel hızda yerçekimi etkisi ile damlatılması mikro kürelerin oluşturulması sağlanır [113]. Söz konusu damlatma aracı titreşimli nozul, püskürtme nozülü, jet kesici, atomize disk veya elektrik alanı olabileceği gibi basitçe bir pipet ya da şırınga da olabilmektedir [89]. Uzun yıllardır uygulanan bu yöntemin kontrol parametreleri konsantrasyon, bileşenlerin oranları, karıştırma şekli ve pH olmakla birlikte; istenen boyutta ve şekilde kapsüllerin üretimi için bazı deneme çalışmalarının yapılması gereklidir. Oluşan partiküllerin büyük boyutlara sahip olması ve pH duyarlılığı yöntemin dezavantajlarıdır. Ancak büyük boyutlu bu partiküllerin yüksek yükleme kapasitesi sağladığı da bilinmektedir [113, 114].



Şekil 2.11. İyonik jelasyon yöntemi ile enkapsülasyon [115]

## 2.4. Demir Enkapsülasyonu ile İlgili Çalışmalar

Literatür verileri incelendiğinde demirin farklı formlarının farklı yöntemlerle kapsüle edilmesine dair örnekler Tablo 2.4.'de gösterilmektedir. Bununla birlikte tahıl ürünlerinin demir zenginleştirilmesinde oldukça sık kullanıldığı görülmüştür.

Dünya genelinde gıda zenginleştirme çalışmaları arasında tahıl ürünleri sodyum klorür tuzunun iyotla zenginleştirilmesi dışında mikro besin ögeleri ve demirce en çok zenginleştirilen ürünler olma özelliği taşımaktadır [116]. Tahıl bazında demir enkapsülasyonu üzerine ilk çalışma ise Jakel ve Belshaw tarafından 1971 yılında gerçekleştirilmiştir. İnce partikül boyutunda ve beyaz renkli bu kapsüllerin un karışımlarında kullanılması herhangi bir olumsuz kalite değişikliğine sebebiyet vermeden 6 ay depolama süresince stabil kalmıştır [62].

Bryszewska, yapılan çalışmada geleneksel ve ekşi maya ekmeğini takviye için 2 farklı demir kaynağı enkapsüle edilerek buğday ununa ilave edilmiştir. Çalışma kapsamında ekmeklerdeki demir sülfat ve demir laktatın erişilebilirlik ve emilimi hakkında ayrıntılı bilgi eldesi için kombine analizler kullanılmıştır. Demir kaynaklarının biyoerişilebilirlik tespitinde dinamik *in vitro* gastrointestinal sistem modellemesinden yararlanılırken; biyoyararlılık için bağırsak emilimi modellemesi (CaCo-2 hücre hattı) kullanılmıştır. Bulgular kapsülasyon ile ekmeklerdeki demir biyoerişilebilirliğinin %99,31'e kadar çıktığını göstermiştir. Bununla birlikte mikrokapsüllerin demir kaynağı türü test edilen parametreler üzerinde anlamlı değişikliğe sebep olmamıştır. Çalışma sonucunda kapsülasyon teknolojisinin demirle zenginleştirme için etkili bir yol ile olabileceği vurgulanmaktadır [117].

Oral demir desteğinin anemik yavru domuzlar üzerindeki etkilerini görmek için gerçekleştirilen çalışmada, domuzlar demir sülfat ve kapsüllenmiş formu ile zenginleştirilen ekmek ile beslenerek 7 günün sonunda domuzlardaki aneminin göstergelerinde gözle görülür iyileşmeler saptanmıştır. Bununla birlikte kapsüle demir ve kapsüllenmemiş demir sülfat arasında çok az bir fark gözlenmiştir. Serbest demir takviyesinin olumsuz etkilerinin mikrokapsül ile ortadan kaldırılması için daha uzun bir çalışma süresine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Buna rağmen bulgular demir

takviyeli ekmeğin insanlar için biyolojik demir kaynağı sağlayabileceği ve fonksiyonel gıda endüstrisi için cazip bir teknik olabileceği sonucunu göstermiştir [118].



**Tablo 2.4. Demir enkapsülasyonu çalışmaları**

Ürün	Kapsülasyon Metodu	Sonuç	Kaynak
Pastörize süt	Lipozom Yağ asidi esterleri (FAE)	FAE tekniğinin düşük maliyetli, basit, hızlı ve pratik olduğu tespit edilmiştir.	[22]
Yoğurt	Niozom	Niozom kapsüllerden demirin salınımı simüle mide sıvısında gerçekleşmiştir. Kontrol yoğurdunun duyuşal, reolojik ve stabilite özellikleri Fe zenginleştirmesinden sadece az miktarda etkilenmiştir.	[119]
Süt	Modifiye solvent uçurma	Gum arabik, maltodekstrin ve modifiye nişasta (4:1:1) ile hazırlanan kapsüllerin verimi %91,58 bulunmuştur. Demirin mikroenkapsüle edilmesi ile biyoyararlılığı önemli derecede artmıştır.	[23]
Yoğurt	Emülsifikasyon	Demir sülfat kullanılarak yüksek biyoyararlılıkta yoğurt eldesi sağlanmış. Kabul edilebilir görüntü ve duyuşal özellikleri değiştirmeden litre başına 80 mg'a kadar demir eklenebileceği görülmüştür.	[30]
Tahıl bazlı bebek mamaları Yoğurt	Emülsifikasyon	Mikronize demir fosfatın yüksek nispi Fe biyoyararlanımı, bu bileşiğın, besin takviyesi için potansiyel yararlılığını göstermiştir.	[120]
Tuz	Sprey soğutma	Çalışma Afrika'nın yerel bir bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Toplumda eksikliği yaygın olarak görülen iyot, demir ve vitamin A'nın eksikliğini gidermek amacıyla her 3 bileşence zenginleştirilmiş tuz üretilmiştir. Çalışma sonucunda kapsüllerin yüksek stabilitede olduğu ve özellikle okul çağı çocuklarında aneminin önlenmesinde etkili olduğu görülmüştür.	[121]
Tuz	Akışkan yatak kaplama	Demirce zengin tuz tüketen gruplarda demir eksikliği anemisinin yaygınlığı başlangıçta %35 oranında iken 40 hafta içerisinde bu oran %8'e düşmüştür. Elde edilen bulgular tuzun demirle zenginleştirilmesinin etkili bir yol olduğunu göstermiştir.	[122]

## 2.5. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı demirin damlatma (soğuk jelasyon) ve emülsifikasyon (faz ayrımı) yöntemleri ile enkapsülasyonu sayesinde tam buğday ununda bulunan fitik asit ile demir arasındaki inhibe edici etkiyi azaltarak emilimini artırılması ve elde edilen mikro kapsüllerin kolay ulaşılabilir, tüketimi yaygın olan tahıl bazlı atıştırmalıklara ilave edilmesi ile demirce zengin, biyoerişimi yüksek tahıl bazlı sağlıklı atıştırmalıkların eldesinin sağlanmasıdır.

Bu sayede;

1. Günlük hayatta yaygın tüketime sahip tahıl bazlı atıştırmalıkların demirce zengin hale getirilmesi,
2. Enkapsülasyon ile, son üründe istenmeyen tat, aroma ve kokunun minimize edilmesi, zenginleştirilen örneklerin duyuusal değerlendirme sonuçlarının kontrol gurubuna mümkün olduğunca en yakın düzeyde bulunması,
3. *In vitro* sindirim modellemesi ile insan sindirim sistemine yakın sonuçlar elde edilmesi,
4. Yüksek enerji girdisi ve uzun süre isteyen fiziksel kapsülasyon metotları yerine kimyasal kapsülasyon teknikleri kullanarak kapsülleme işlemini ekonomik olarak daha cazip hale getirilmesi planlanmıştır.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

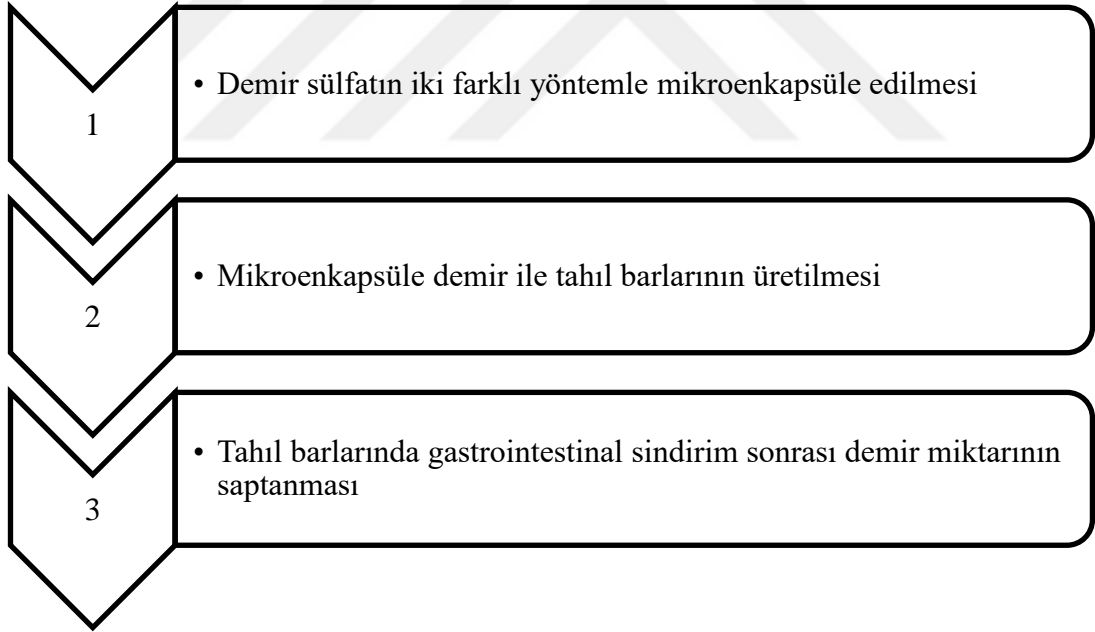
#### 3.1. Materyal

Çalışma kapsamında tahıl barı eldesi için kullanılacak olan hammaddeler; un, şeker, tuz, maya ve katı yağ Manisa ilinde bulunan marketlerden temin edilmiştir. Tez kapsamında kullanılan ekipmanlar Manisa Celal Bayar Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarından sağlanmıştır.

#### 3.2. Yöntem

##### 3.2.1. Çalışma Deseninin Planlanması

Çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmiştir:



Ön denemelerde gerçekleştirilen farklı kimyasal kapsülasyon tekniklerinin arasından emülsifikasyon ve iyonik jelasyonun  $\text{FeSO}_4$ 'ün kapsüllemesinde kullanılması kararlaştırılmıştır. Her iki yöntemle kapsüllerin eldesi çalışmanın ilk aşamasını oluşturmaktadır. Sonraki aşama mikrokapsüllerin tahıl atıştırmalıklarının üretiminde kullanılacak olan una ilave edilmesi ile örneklerin oluşturulmasını içermektedir. Çalışmanın son aşamasında  $\text{FeSO}_4$  ile takviye edilen grupların

(enkapsüle/enkapsüle edilmeden) kontrol grubundan farklılıklarını saptamak için fiziksel, kimyasal ve duyuşsal analizler gerçekleştirilmiştir.

Tahıl bazlı barların üretimi sırasında, zenginleştirme için FeSO<sub>4</sub>'ın direkt kullanıldığı grup DS, emülsifikasyon ile oluşturulan kapsüllerin kullanıldığı grup EDS ve damlatma yöntemi ile elde edilen kapsüllerin kullanıldığı grup DDS olarak kodlanmıştır. Kontrol grubunun üretiminde ise herhangi bir zenginleştirme yapılmamış ve gruplar K olarak kodlanmıştır. Üretilen tahıl atıştırmalıkların eşitleri ve isimlendirmesi Tablo 3.1.'de yer almaktadır.

**Tablo 3.1. Tahıl bazlı atıştırmalıkların kodları**

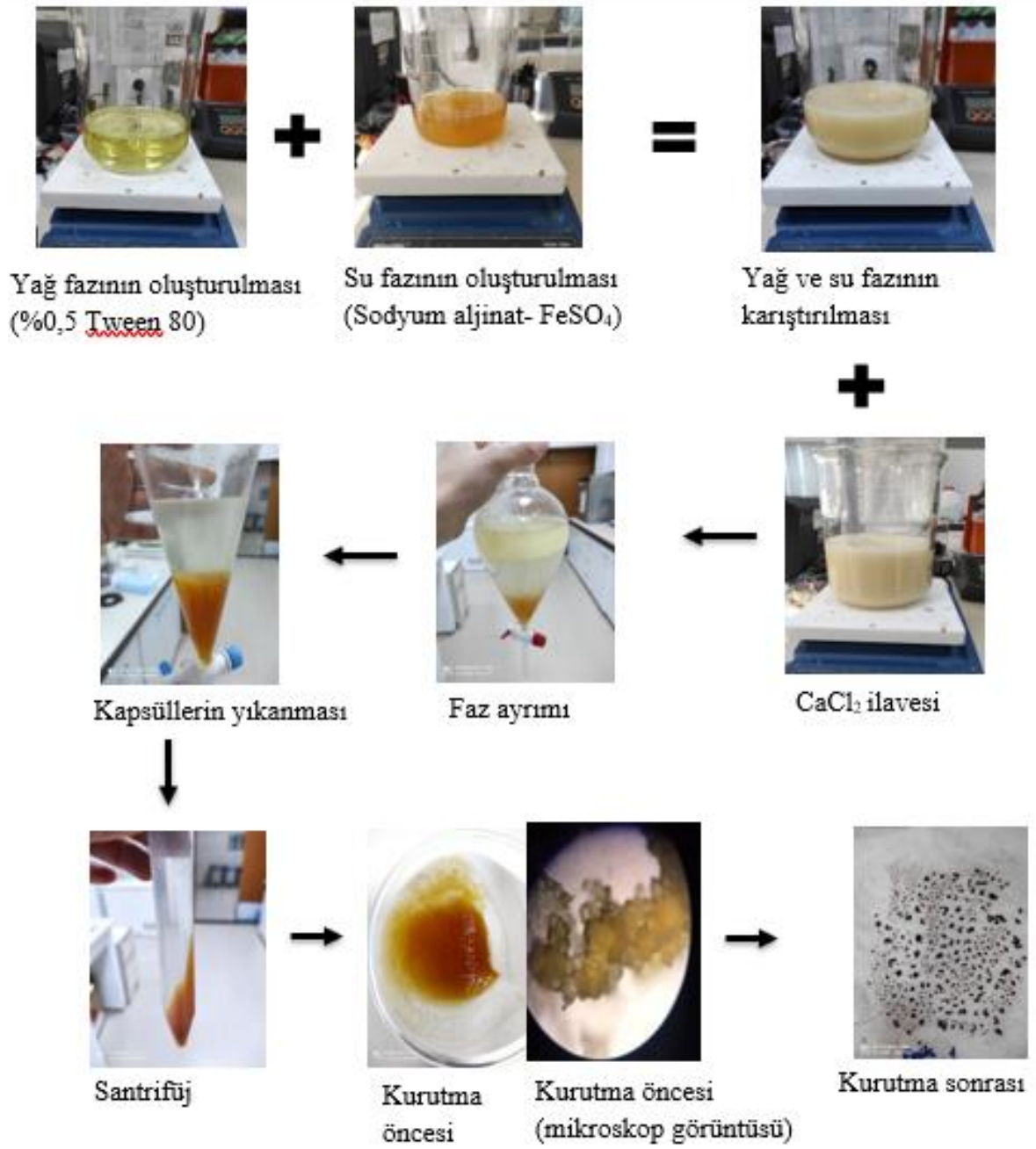
Demir Kaynağı	Enkapsülasyon yöntemi		Kaynağın direk kullanımı
	Damlatma (soğuk jelasyon)	Emülsifikasyon (faz ayrımı)	
Demir sülfat (FeSO <sub>4</sub> )	DDS	EDS	DS
Kontrol (K)	-	-	-

### 3.2.2. Mikrokapsüllerin Oluşturulması

*Emülsifikasyon (faz ayrımı) yöntemi:*

1 g demir sülfat ve 1,5 g sodyum aljinat 100 ml saf suda çözündürülerek su fazı oluşturulmuştur. Yağ fazı ise başka bir beher içerisinde 100:0,5 (yağ:tween 80) oranında tween 80 içeren ayçiçeği yağı 900 rpmde 20 dk manyetik karıştırıcıda karıştırılarak oluşturulmuştur. Sodyum aljinat- demir sülfat karışımından 100 ml, 500 ml yağ fazına damla damla eklenmiştir. Karışım emülsiyon oluşturmak için 900 rpmde 30 dk manyetik karıştırıcıda karışmaya bırakılmıştır. 0,1 mol CaCl<sub>2</sub>'den 500 ml karışıma eklenerek 20 dk daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Süre sonunda karışım manyetik karıştırıcıdan alınarak 30 dk faz ayrımı için beklenmiştir. Bekletme işlemine takiben beher içerisinde yağ, su ve mikrokapsüllerin oluşturduğu 3 faz oluşumu gerçekleşmiştir. Ardından yağ ve su fazları ayrılarak kapsüller saf su ile 3 defa yıkanmıştır. Mikrokapsüller 3000 rpmde 15 dk (2 kere) santrifüjlenerak sulu fazdan ayrılması sağlanmıştır. Kapsül faz eker ocak içerisinde 12 saat kurutularak

üretim ve analizler gerçekleşinceye kadar 4°C’de depolanmıştır [123]. Emülsifikasyon ile enkapsülasyon çalışmasının daha yalın anlatımı Şekil 3.1.’de görsellerle desteklenerek ifade edilmiştir.



**Şekil 3.1. Emülsifikasyon (faz ayrımı) yöntemi ile mikrokapsüllerin oluşturulması**

### *Damlatma (soğuk jelasyon) yöntemi:*

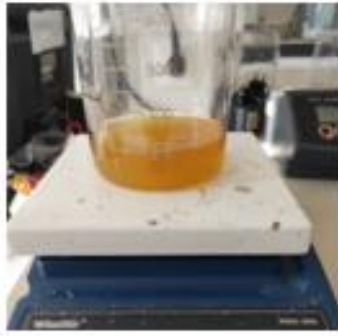
Zhang ve ark. tarafından kullanılan yöntem üzerinde birtakım modifikasyonlar yapılarak mikrokapsül çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin temelinde FeSO<sub>4</sub>, aljinat içerisine gömülerek CaCl<sub>2</sub> çözeltisi ile sertleşmesi sağlanmıştır. 1 g FeSO<sub>4</sub> ve 1,5 g sodyum aljinat 100 ml saf su içerisine alınmış, tamamen çözünme gerçekleşinceye kadar manyetik karıştırıcıda karışmaya bırakılmıştır. Jelasyonun gerçekleşmesi için kullanılan CaCl<sub>2</sub> çözeltisi ise; 15 g CaCl<sub>2</sub>'un 100 ml saf suda çözündürülmesi ile hazırlanmıştır. Burada gerçekleşen tepkime ekzotermik tepkime olduğu için çözelti soğuyana kadar bekletilmiştir. Çözeltinin soğuması sağlandıktan sonra manyetik karıştırıcı üzerine alınarak aljinat-Fe çözeltisi şırınga yardımı ile damla damla eklenmiştir. Enjeksiyon işlemi tamamen bittikten sonra, kürelerin tamamen oluşmasını sağlamak için 30 dk boyunca karışım karıştırma işlemine devam edilmiştir. Süre sonunda kapsüller filtre edilip, 3 kez saf su ile yıkanarak fazla CaCl<sub>2</sub> uzaklaştırılmıştır. Ardından kapsüller çeker ocak içerisinde 12 saat kurutularak üretim ve analizler gerçekleşinceye kadar 4°C'de depolanmıştır [124, 125]. Söz konusu enkapsülasyon işlemi Şekil 3.2.'de özet olarak gösterilmektedir.

### **3.2.3. Atıştırmalık Tahıl Barlarının Üretimi**

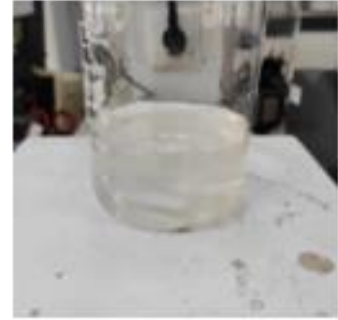
#### *Tahıl barlarına ilave edilecek demir sülfat miktarının belirlenmesi*

Demir minerali ile zenginleştirme amaçlı insan vücudunda demirin en iyi emilebilen formlarından biri olan demir sülfat (FeSO<sub>4</sub>) seçilmiştir [126]

Türk Gıda Kodeksi Gıda Maddelerinin Genel Etiketleme ve Beslenme Yönünden Etiketleme Kuralları Tebliği, Besin Ögeleri ile ilgili beyan tablosunda bir katı gıdanın vitamin ve mineraller açısından kaynak gösterilebilmesi için; söz konusu bileşenin 100 g gıdada beslenme referans değerinin %15'inden az olmaması gerektiği bilgisine ulaşılmıştır [127]. Demir minerali için WHO tarafından tavsiye edilen günlük alım miktarı (kadın ve erkekler için ortalama) 18 mg olarak ifade edilmektedir. Çalışmada bu değer baz alınarak ve bir porsiyon ürünün günlük ihtiyacın %25'ini karşılayacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır [11].



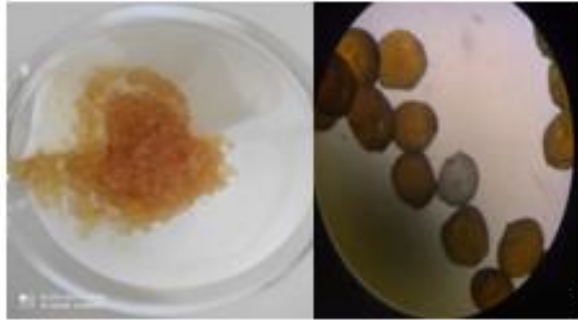
Sodyum aljinat-  $\text{FeSO}_4$  karışımının oluşturulması



$\text{CaCl}_2$  çözeltisinin oluşturulması



Sodyum aljinat-  $\text{FeSO}_4$  karışımının  $\text{CaCl}_2$  çözeltisine damlatılması



Kurutma öncesi

Kurutma öncesi (mikroskop görüntüsü)



Kurutma sonrası

Şekil 3.2. İyonik jelasyon (damlatma) yöntemi ile mikrokapsüllerin oluşturulması

Gerçekleştirilen ön denemeler sonucu atıştırma işleminin pişirme kaybı ortalama %35 olarak saptanmıştır. Üretilen tahıl atıştırma işlemlerine benzer olarak piyasada satışa sunulan ürünler (galeta, grissini sınıfı) incelenmiş ve bir porsiyon ürün 50 g olacak şekilde belirlenmiştir. Tahıl barlarının üretim kısmında değinilen Tablo 3.2.'de verilen bileşenler ve pişirme kaybı göz önüne alındığında bir porsiyon ürün için 45,7 g un kullanılmıştır. 50 g nihai ürünün 4,5 mg Fe minerali içermesi istenmektedir. Diğer bileşenlere katkı yapılmaksızın üretimde kullanılacak olan 500 g una 49,14 mg Fe ilavesi yapılması gereklidir. Benzer şekilde ön denemelerde gerçekleştirilen Fe analizi sonrası 1 g FeSO<sub>4</sub> içerisinde 321 mg demir olduğu saptanmıştır. Yapılan hesaplamalar 500 g un için 0,155 g FeSO<sub>4</sub> gerekli olduğunu göstermiştir. Kontrol grubunda ise sadece tam buğday unu kullanılmıştır.

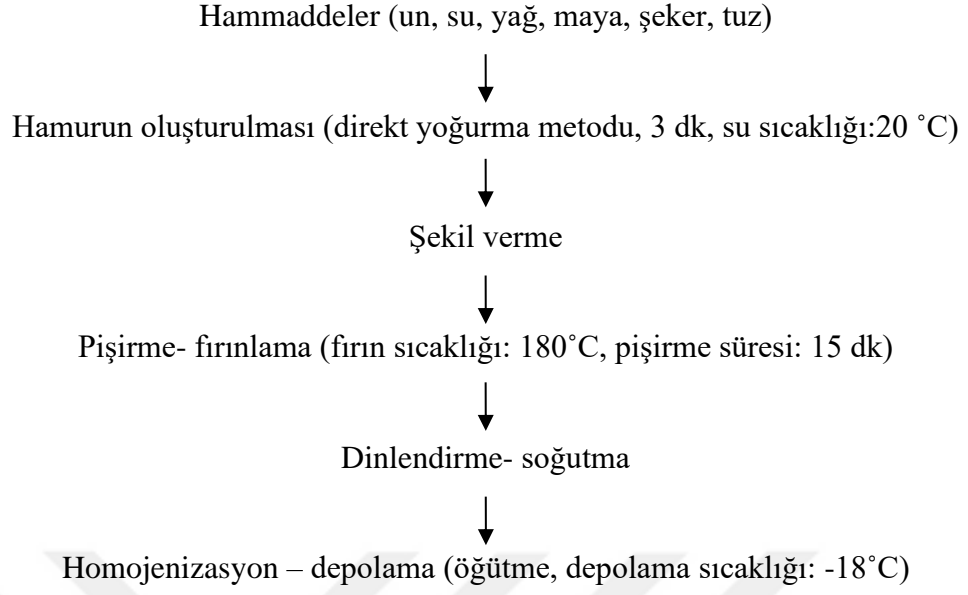
#### *Tahıl barlarının üretimi*

Tahıl bazlı atıştırma işleminde Özgören ve ark. tarafından kullanılan formülasyon (Tablo 3.2.) ve işlemler (Şekil 3.3.) temel alınmıştır.

**Tablo 3.2. Tahıl bazlı atıştırma işlemlerinin formülasyonu**

	Kontrol	DDS	EDS	DS
Tam buğday unu (g)	100	100	100	100
Şeker (g)	4	4	4	4
Tuz (g)	1,5	1,5	1,5	1,5
Kabartma tozu (g)	2,5	2,5	2,5	2,5
Katı yağ (g)	20	20	20	20
Su (ml)	40	40	40	40
Demir Sülfat (mg)	-	31	31	31

Hammaddeler belirtilen miktarlarda tartılarak hamur oluşumu için karıştırma adımına geçilmiştir. Karıştırma işlemi Kitchen Aid mikser kullanılarak 3 dk boyunca 2. devirde gerçekleştirilmiştir. Pişirme öncesi hamur tartılmış ve 20±5,0 g olacak şekilde porsiyonlanarak 20 cm uzunluğunda galeta şekli verilmiştir. Şekil vermeyi takiben İnoksan (konveksiyonlu fırın FKE010) fırına alınan ürünler 180 °C'de 20 dk süresince pişirilmiştir. Örnekler soğuması için oda sıcaklığına 2 saat bekletilerek öğütülüp (Warin Blender, 7011) homojen hale getirilmiştir [128]. Vakum paketleme yapılarak analizler gerçekleştirilinceye kadar -18°C'de depolanmıştır.



**Şekil 3.3. Tahıl atıştırmalıklarının üretim akış şeması**

#### **3.2.4. Kül Tayini**

TS EN ISO 2171 [129] baz alınarak sabit tartıma getirilen kül krozelerine  $1\pm 0,1$  g homojenize örnek tartılarak numuneler konulduktan sonra alkolle ön yakma işlemi uygulanmıştır. Ön yakmanın ardından sıcaklık kademeli olarak artırılarak  $500\pm 10^\circ\text{C}$ 'ye çıkarılmış, örnekler içerisinde gri siyah renk kalmayınca dek en az 2 saat yakma işlemine tabi tutulmuştur. Sonuçlar kuru madde üzerinden hesaplanmıştır.

#### **3.2.5. Nem Tayini**

Örneklerde nem tayini TS EN ISO 712 [130]'a göre gerçekleştirilmiştir. Analiz için öğütülüp homojen hale getirilen örneklerden  $5\pm 0,1$  g kurutma kaplarına tartılarak, kapakları yarı kapatılmış olarak  $130\pm 3^\circ\text{C}$ 'deki etüve yerleştirilip, sabit tartıma gelinceye kadar beklenmiştir. Sabit tartım sonucu ağırlık başlangıç örnek ağırlığına oranlanarak nem içeriği hesaplanmıştır.

### 3.2.6. Protein Tayini

Örneklerin toplam protein tayini Dumas (Azot Yanma) yöntemi ile belirlenmiştir. Dumas yönteminde temelinde numuneler yaklaşık 700-1000°C'de saf oksijen akışıyla birlikte yakılır. İşlem sırasında tüm N (Azot) formları azot dioksit (NO<sub>2</sub>) dönüştürülür ve bu gazlar elemental azota (N<sub>2</sub>) indirgenir. Ortaya çıkan azot termal iletkenlik yöntemi ile belirlenip, bir protein faktörü kullanılarak örnekteki protein içeriği hesaplanır [164, 165]. Çalışma kapsamında tam buğday unu kullanıldığı için protein çevirme faktörü 5,69 olarak alınmıştır [166].

Numunelerde azot miktarı MCBÜ DEFAM Araştırma Merkezi'nde bulunan elemental analiz cihazı ile saptanmış; sonuçlar 5,69 ile çarpılarak toplam protein miktarı hesaplanmıştır. Sonuçlar kuru madde üzerinden ifade edilmiştir.

### 3.2.7. Demir Miktarı Tayini

Örneklerde *in vitro* sindirim öncesi ve sonrası demir miktarı belirlenmiştir. Demir analizi (ön yakma ile birlikte), MCBÜ DEFAM Araştırma Merkezi'nde bulunan ICP-OES cihazı (Perkin Elmer, Optima 8000) ile gerçekleştirilmiştir. Ön yakma için 0,5 g numune 10 ml nitrik asitle 210°C'de bozundurma işlemine tabi tutulmuştur. Analiz koşulları aşağıda yer aldığı şekildedir;

Plazma gazı: Argon

Plazma akış hızı: 8 l/dk

Aux (yardımcı gaz akış hızı): 0,2 l/dk

Nebuliser (sisleştirici gaz akış hızı): 0,65 l/dk

Power: 1300 watt

Radial mode

### 3.2.8. *In Vitro* Sindirim Modellemesi

Brodkorb ve ark. tarafından tanımlanan sindirim modellemesinde yöntem; hazırlık, sindirim ve örneklerin analizler için depolanmasını içeren 3 aşamadan oluşmaktadır [41].



## Hazırlık aşaması

### *Pepsin aktivitesinin hesaplanması*

%2 hemoglobin substrat olarak kullanılarak pepsin enziminin aktivitesi saptanmıştır. Pepsin standart örnekleri 0,01-0,02-0,03-0,04 ve 0,05 mg/ml konsantrasyonlarında seyreltilerek her örnek için kör ve test tüpleri ayrı ayrı hazırlanmış ve tüplerin hazırlanması Tablo 3.3.'de gösterilmiştir. Kör ve örnek tüplerine 5 ml substrat konularak 37°C'de çalkalamalı inkübatöre yerleştirilerek 3-4 dk çözeltinin analiz sıcaklığına ulaşması sağlanmıştır. Kör örnek hariç bütün örnekler 1 ml enzim standart çözeltilerinden ilave edilerek 37°C'de 10 dk boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Reaksiyonu durdurmak için %5 TCA (trikloroasetik asit) çözeltisinden her tüpe 10 ml eklenmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki kör tüplere 1 ml enzim standartlarından ilave edilerek vortekslenmiştir. Hemoglobinin çöktürülmesi amacıyla 6000 rpm 30 dk santrifüj işleminin ardından 0,45 µm şırınga filtreden geçirilmiştir. Örnekler kuvars küvetlere alınarak 280 nm'de havaya karşı spektrofotometre absorbansları kaydedilmiştir.

**Tablo 3.3. Pepsin aktivitesinin hesaplanması için kör ve örnek tüplerinin hazırlanması**

Reaktif ismi	Kör örnek (ml)	Test örneği (ml)
Substrat (%2 hemoglobin)	5	5
Enzim standart çözeltisi	-	1
%5 TCA çözeltisi	10	10
Enzim standart çözeltisi	1	-

Hesaplama kullanılan formül ise şu şekildedir;

$$\text{Ünite/mg enzim} = \frac{(A_{280\text{Test}} - A_{280\text{Kör}})(df)}{(10)(1)(0,001)}$$

df= seyreltme faktörü

10= inkübasyon süresi (dk)

1= eklenen enzim miktarı (ml)

0,001= sabit (pH 2 ve 37°C'de bir ünite enzim, bir dakikada  $\Delta A_{280}$  değerinde 0,001'lik bir değişime yol açmaktadır)

#### *Tripsin aktivitesinin hesaplanması*

10 mM TAME (p-toluen-sülfonil-L-arjinin metil ester) ultra saf su ile hazırlanarak tripsin enzim aktivitesi analizinde substrat olarak kullanılmıştır. Enzim standartlarının hazırlanmasında kullanılacak olan stok enzim çözeltisi ise tripsin enzim konsantrasyonu 5 mg/ml olacak şekilde soğuk HCl ile oluşturulmuştur. Kör test tüpüne 2,6 ml analiz çözeltisi (46 mM Tris/HCl buffer ve 11,5 mM CaCl<sub>2</sub> içeren çözelti, pH 8,1) ve 300 µl substrat çözeltisi konularak ters düz edilip karıştırılmıştır. Ardından 3-4 dk 25°C'ye gelmesi için inkübatöre yerleştirilerek beklenmiştir. Spektrofotometrede havaya karşı 247 nm'de absorbans değeri en az 5 dk boyunca 10 s aralıklarla kaydedilmiştir. Test tüpleri ise stok enzim çözeltisinden seyreltilerek en az 3 farklı konsantrasyonda (0,25 mg/ml, 0,50mg/ml, 1mg/ml) hazırlanmıştır. 2,6 ml analiz çözeltisi ve 300 µl substrat çözeltisini takiben inkübasyona (25°C, 3-4 dk) bırakılan tüplere 100 µl enzim standartları ilave edilmiştir. Ardından 247 nm dalga boyunda havaya karşı en az 5 dk ölçüm yapılmıştır. Elde edilen değerler doğrultusunda kör ve test tüpleri için absorbansa karşı dakika grafiği oluşturulmuş ve enzim aktivitesi aşağıda yer alan formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Ünite/mg enzim} = \frac{(\Delta A_{247} \text{ Test} - \Delta A_{247} \text{ Kör}) \times 1000 \times 3}{540 \times X}$$

$\Delta A_{247}$ = lineer eğrinin eğimi (absorbans/dakika)

540= TAME'nin 247 nm'deki molar sönümlenme katsayısı

3= reaksiyon karışımının hacmi (ml)

X= reaksiyon karışımındaki pankreatin miktarı (mg)

#### *Simüle sindirim sistemi sıvılarının oluşturulması*

Sindirim sıvıları Tablo 3.4.'de gösterildiği şekilde hazırlanmış ve her bir ortam sıvısı ultra saf su ile 400 ml hacme tamamlanmıştır. 0,3 M CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> sindirim işleminden hemen önce hazırlanarak çözeltilere ilave edilmiştir. Pepsin ve tripsin

enzimleri, midede 2000 U/ml, bağırsakta 100 U/ml aktivite gösterecek şekilde sindirim sıvılarına sırası ile eklenmiştir.

**Tablo 3.4. Simüle sindirim sıvılarının oluşturulması**

	Stok konsantrasyonu (M)	Simüle ağız sıvısı (SSF, pH:7, ml)	Simüle mide sıvısı (SGF, pH:3, ml)	Simüle bağırsak sıvısı (SIF, pH:7, ml)
KCl	0,5	15,1	6,9	6,8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,5	3,7	0,9	0,8
NaHCO <sub>3</sub>	1	6,8	12,5	42,5
NaCl	2	-	11,8	9,6
MgCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	0,15	0,5	0,4	1,1
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,5	0,06	0,5	-
HCl	6	0,09	1,3	0,7
CaCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>2</sub>	0,3	0,025	0,005	0,04

#### Sindirim prosedürü

Homojenize edilmiş toz halindeki örnekten 5 g tartılarak 3,5 ml simüle ağız sıvısı ile karıştırılmıştır. Üzerine 25 µl 0,3 M CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> eklenmiştir. Örnek ve sıvı çözeltilerin oranı 1:1 olacak şekilde (5 g gıda 5 ml SSF) saf su ile tamamlanarak 37°C 100 rpm 2 dk çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiştir. Ağız sindirimini tamamlayan gıda çalkalayıcıdan alınarak 8 ml SGF ilave edilmiş ve mide fazına geçilmiştir. 5 µL 0,3 M CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub> eklendikten sonra 3 M HCl ile pH 3'e ayarlanmış, bu esnada örneğe eklenen HCl sarfiyatları kaydedilerek daha sonra toplam hacim hesaplamasında kullanılmıştır. 1 ml pepsin çözeltisi ilave edilip gıda SGF oranı 1:1 olacak şekilde saf su ile 20 ml'ye tamamlanmıştır. Örnekler mide sindirimini gerçekleştirilmesi için 37°C 200 rpm'e ayarlı çalkamalı inkübatörde 2 saat bırakılmıştır. Bağırsak fazına geçiş için mide sindirimini tamamlayan 20 ml gıdaya 11 ml SIF ilave edilmiştir. Sarfiyat kaydedilmek suretiyle 1 M NaOH ile pH 7'ye ayarlanmıştır ve 40 µL 0,3 M CaCl<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>, 2,5 ml safra çözeltisi, 5 ml tripsin enzimi ilave edildikten sonra toplam hacim 40 olacak şekilde (gıda: SGF;1:1) ultra saf su eklenmiştir. Örnekler 37°C 150 rpm çalkamalı inkübatöre yerleştirilip 2 saat bekletilmiştir. Süre sonunda bağırsak sisteminin tamamlanması ile birlikte örnekler vakit kaybedilmeden 4°C'de 4000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Santrifüj sonrası süpernatantlar temiz bir tüpte

toplanarak 1 ml örneğe 9 µL 500 mM Pefabloc enzim inhibitörü eklenerek sindirim durdurulmuştur. Elde edilen süpernatantlar analizlere kadar -86'da depolanmıştır.

Örneklerde sindirim öncesi ve sindirim sonrası demir miktarı saptanarak, %BE demir miktarı aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır:

Biyoerişilebilirlik(%)=(sindirim sonrası örnekteki Fe miktarı)/(sindirim öncesi örnekteki Fe miktarı)×100

### **3.2.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)**

Deneme örneklerinin mikro-yapısal analizi, MCBÜ DEFAM Araştırma Merkezi'nde bulunan Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope: SEM) ile gerçekleştirilmiş ve mikrograflar çekilerek en temsil edici olanları seçilmiştir. Materyallerin demirden dolayı nispi iletkenlikleri düşünülerek plakalar üzerine kaplama yapılmamış; materyaller çift taraflı bant aracılığıyla plakalara yerleştirilmiştir

### **3.2.10. Renk tayini**

Konika Minolta (Chromometer CR-5) cihazı ile hem kontrol hem mikroenkapsüle Fe içeren örneklerin renk ölçümü gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler, L\*, a\* ve b\* renk birimi ile ifade edilmiştir. L\* değeri aydınlığı ifade etmektedir ve 0 ila 100 arasında bir değer alır, 0'a yaklaştıkça koyuluk artar 100'e yaklaştıkça renk açılır. -a\* değeri yeşil ve +a\* değeri kırmızıyı, +b\* değeri sarı ve -b\* değeri maviyi göstermektedir [132, 133]. Örneklerin renk analizleri 20°C'de 2 tekerrür, 5 paralel olacak şekilde yapılmıştır.

### **3.2.11. Tekstür Profili Analizi (TPA)**

Tahıl atıştırma kırımları üretiminde sonra soğuması için 2 saat oda sıcaklığında bekletilmiştir. Tekstür özelliklerini belirlemek için Tekstur Analyzer (TA.XT.plus, Stable Micro Systems) cihazında 5 kg load cell ve 3 noktalı kırma (bükme) başlığı (three-point bending rig, HDP/3PB) ile çalışılmıştır. Taban plakasının 2 ayarlanabilir

desteği numuneyi desteklemek için uygun aralıklarla (40 mm) ayarlanmıştır. Numuneler analiz öncesi 5 cm uzunluğunda kesilerek plakayı ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Test parametreleri olarak test öncesi hız 1,00 mm/s, test hızı 3,00 mm/s ve test sonrası hız 10 mm/s baz alınmıştır. Doku ölçümleri 25°C’de 2 tekerrür, 7 paralel olacak şekilde gerçekteştirilmiş; örnekleri kırmak için gerekli maksimum kuvvet (kırılgnlık, gevreklik) ve kırılma noktasındaki mesafe kaydedilmiştir [134, 135].

### **3.2.12. Pişme Kaybı ve Ürün Verimi**

Örneklere nihai ürünlerin yapısal özelliklerini saptamak ve ön denemelerde katkı yapılacak olan demir miktarının tespiti için pişme kaybı ve verim hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama kullanılan formülasyon şu şekildedir;

Pişme Kaybı (%)=(Başlangıç Hamur Ağırlığı-Pişme Sonrası Ağırlık) x100/Başlangıç Hamur Ağırlığı

Ürün verimi ise 100 kısım hamurdan elde edilen ürünü ifade etmektedir [136].

### **3.2.13. Duyusal Analiz**

Atıştırmalık tahıl barları Tablo 3.2.’de verilen formülasyonlara göre hazırlandıktan sonra pişirilmiş ve soğuması için oda sıcaklığında 2 saat beklenmiştir. Duyusal analiz Manisa Celal Bayar Üniversitesi lisansüstü öğrencileri ve öğretim elemanlarından oluşturulan 20 kişilik panelist grubu tarafından gerçekteştirilmiştir. Rastgele seçilen farklı 3 basamaklı sayılarla kodlanan örnekler tadımından sonra ağız tadının nötre dönmesi için suyla birlikte sunulmuştur. Katılımcılar, paravan ile bölünmüş birbirinden bağımsız bölümlerde duyusal tadımı yapmış, bu sayede panelistlerin birbirlerinden etkilenmemeleri sağlanmıştır. Analiz ile ilgili kısa bir bilgilendirme yapıldıktan sonra verilen form üzerinde örneklerin görünüş, renk, lezzet, doku, genel beğeni özelliklerini 5 üzerinden (hedonik skala; 1: hiç beğenmedim, 2: beğenmedim, 3: ne beğendim ne beğenmedim, 4: beğendim, 5: çok beğendim) değerlendirmeleri istenmiştir.

### 3.2.14. İstatistiksel Analiz

Çalışma kapsamında demir katkılı atıştırmalıkların kontrol grubu ile farklılıklarını belirlemek amacıyla SPSS 24.0 (Statistical Package for the Social Sciences), istatistiksel paket programı kullanılarak tek yönlü (One-way ANOVA) varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Süreç boyunca gerçekleştirilen analizler ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile gruplar arası farklılıklar ( $P < 0,05$  düzeyinde) belirlenmiştir [137]. Analizler 2 tekerrür olarak gerçekleştirilmiş. Tablolarda yer alan veriler ortalama  $\pm$  standart sapma olarak ifade edilmiştir.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Atıştırmalıkların Kimyasal Analizi Sonuçları

#### 4.1.1. Tahıl Atıştırmalıkların Genel Bileşimi

Analizlerin ilk aşamasında genel kompozisyonu hakkında bilgi sahibi olmak amacı ile atıştırmalık tahıl barlarının nem, kül ve protein analizleri gerçekleştirilmiş; sonuçlar Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.1. Tahıl bazlı atıştırmalıkların genel kimyasal içeriği**

rnek	Nem (%)	Kül (% , km)	Protein (% , km)
K	1,59±0,86 <sup>a</sup>	3,79±0,26 <sup>a</sup>	10,50±0,03 <sup>a</sup>
DS	1,43±0,92 <sup>a</sup>	3,51±0,32 <sup>a</sup>	10,63±0,03 <sup>b</sup>
DDS	1,11±0,08 <sup>a</sup>	3,77±0,26 <sup>a</sup>	10,48±0,03 <sup>a</sup>
EDS	0,98±0,42 <sup>a</sup>	3,67±0,14 <sup>a</sup>	10,53±0,03 <sup>a</sup>

Gıdalarda kül, organik maddelerin yanmasından sonra kalan inorganik kısmı temsil etmektedir ve bu kısım genellikle minerallerden oluşmaktadır. İçerik sıcaklığının 500-600°C'lere çıkarılması ile birlikte su ve uçucu bileşikler buharlaşarak uçar, organik bileşenler ise yanar [138]. Bu şekilde genellikle ürün içeriğindeki mineral madde hakkında bilgi edinilir. Tablo 4.1.'de verilen sonuçlar incelendiğinde demir sülfat ilavesinin örneklerin kül miktarında önemli bir artışa sebep olmadığı gözlenmiştir (P>0,05). Bunun sebebinin demir katkısının düşük düzeylerde (9,8 mg/100g un) olmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Galetalara chia tohumu ilavesinin etkilerini araştırmak üzere gerçekleştirilen çalışmada ürünlerin kül içeriğinin ilave miktarıyla orantılı bir şekilde arttığı (%0,72-1,05) gözlemlenmiştir [128]. Lotus ieği kökünün galetalarda 3 farklı oranda katkı olarak kullanıldığı diğer bir çalışmada kontrol grubu kül miktarı %1,69 bulunurken; lotus kökü tozu ilavesiyle (%20) kül miktarı %2,93'e çıkmıştır [139]. Uribe-Wandurraga ve ark., tarafından yapılan çalışmada atıştırmalıklara buğday ununa ikame olarak 2 farklı tür mikroalgden %1,5 oranında kullanılmıştır. Her iki tür için de bu ilave miktarının tahıl atıştırmalıklarının kül miktarı üzerinde istatistiksel olarak

anlamli bir farklılığa (%0,89-1,12) sebep olmadığı ifade edilmiştir [140]. Literatürdeki güncel çalışmalarda tespit edilen kül miktarının bu çalışmadakinden daha düşük miktarlarda olmasının sebebinin kullanılan tam buğday unundan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Nitekim literatürde bu konu üzerinde yapılan araştırmalar tam buğday ununun buğday ununa göre daha fazla kül içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte buğdayların kül oranının çeşit, olgunlaşma döneminin iklim koşulları ve gübreleme gibi birçok faktöre bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. [141, 142, 143, 144].

Gıdaların nem içeriği doku, renk ve besin değeri gibi özelliklerdeki değişimler üzerinde etkiye sahiptir. Bununla birlikte belirli nem düzeyinin altındaki seviyelerde mikrobiyal faaliyetin azalması da nem değerinin bilinmesini önemli kılmaktadır [145]. Tablo 4.1.'de incelenen veriler doğrultusunda örneklerin nem değerleri %0,98-1,59 aralığında değişmektedir ve gruplar arası farklılık anlamsız bulunmuştur ( $P>0,05$ ).

Tam buğday unu ile üretilen galetalarda raf ömrünü uzatmak amacı gerçekleştirilen çalışmada ürünlere 0,17 g/100 g biberiye ekstraktı ilave edilmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler sonucu tam buğday unlu galetaların nem içeriğini %2,09 olarak bulmuşlardır [147].

Tahıl atıştırma malıklarının protein değerlerine bakıldığında enkapsüle demir sülfat ilavesinin ve kapsülasyon yönteminin anlamlı derece bir değişime sebebiyet vermediği görülmektedir ( $P>0,05$ ). Demir sülfat ilavesi ile protein miktarında anlamlı bir şekilde artış olduğu görülmektedir ( $P<0,05$ ). Bu artışın temelinde fitik asitin hem demiri hem proteinleri bağlama özelliğinin olduğu düşünülmektedir. Eklenen demir tuzlarının muhtemelen fitik asite bağlanmıştır. Bu da proteinler ve demir tuzları arasındaki etkileşimlerin veya çapraz bağlanmanın kapsamını artırarak demir takviyeli örneklerin protein içeriklerinde artışa sebep olmuş olabilmektedir.

Siddique ve Park tarafından yapılan çalışmada  $FeSO_4$  ilavesinin Çedar peynirlerine etkisi gözlenmiştir. Örneklerin protein içerikleri incelendiğinde  $FeSO_4$  direkt ilavesinin kontrol ve kapsüle  $FeSO_4$  ilaveli gruplara kıyasla anlamlı bir şekilde artışa sebep olduğu ifade edilmiştir [148]. Benzer şekilde çinko sülfat ve peynir



üzerine yürütülen bir başka çalışmada ise; çinko sülfatın kapsüle edilmemiş halde uygulandığı grubun protein içeriğinde artış olduğu belirtilmiştir [168].

Karaağaoğlu ve ark., özel amaçlı tahıl ürünlerinin besin değerlerinin incelendiği çalışmada piyasada satışı sunulan tatlı bisküviler, tuzlu atıştırmalıklar ve kepekli/yulaflı ürünler nem, kül, yağ, protein, enerji değerleri açısından değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları galeta/grissini grubunun nem değerlerinin %3,4-4,6 arasında değiştiği ifade edilmiştir. Ürünlerin protein değerlerinin ise %10,7-11,7 aralığında olduğunu belirtmişlerdir [146].

Devedikeni tohumu tozunun galetalar üzerinde tekstürel ve kimyasal etkilerini görmek için yapılan çalışmada kontrol grubunun protein oranı %9,84 bulunmuştur. Ve bu oran toz ilavesine bağlı olarak artmıştır [167].

#### 4.1.2. Tahıl Atıştırmalıklarında Demir Miktarı ve Biyoerişilebilirliği

Literatürde minerallerin biyoyararlılık ve/veya biyoerişilebilirliklerini ölçmek için kullanılan farklı yöntemler yer almaktadır. Özellikle tahıl ürünlerinde demir minerali ile zenginleştirilme yapılarak biyoerişilebilirlik incelemesinin yapıldığı birçok örnek bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar birçok farklı teknik, prosedür ve çalışma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple sonuçlar arasında kıyaslama yapmak pek mümkün olmamaktadır [53, 149].

Örneklerin biyoerişilebilirlikleri hakkında bilgi sahibi olabilmek adına sindirim öncesi ve sindirim sonrası demir miktarları analiz edilmiştir; sonuçları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

**Tablo 4.2. Tahıl bazlı atıştırmalıkların demir miktarları ve biyoerişilebilirlikleri**

Örnek	Sindirim öncesi (mg/100g)	Sindirim sonrası (mg/100g)	%BE
K	4,90±0,14 <sup>a</sup>	0,25±0,00 <sup>a</sup>	5,10±0,15 <sup>a</sup>
DS	15,65±1,77 <sup>b</sup>	3,35±1,63 <sup>b</sup>	20,34±8,89 <sup>b</sup>
DDS	16,80±2,83 <sup>b</sup>	3,60±0,14 <sup>b</sup>	21,81±4,51 <sup>b</sup>
EDS	18,90±0,14 <sup>b</sup>	5,50±0,71 <sup>b</sup>	29,09±3,52 <sup>b</sup>

Demir miktarları ele alındığında kontrol grubu galetalarda sindirim öncesi ve buna bağlı olarak sindirim sonrası demirin en düşük miktarda olduğu görülmektedir. Kontrol grubu biyoerişilebilirliği ise yaklaşık %5 olarak saptanmıştır.

Dünya Sağlık Örgütü tarafından gıdaların mikro besinsel öğelerce zenginleştirmesinde rehberlik etmesi amacı ile yayımlanan çalışmada demir mineraline de ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Rehberde demir sülfatın (kuru) %33 demir içerdiği ve bunun %100 biyoyararlanıma sahip olduğu bildirilmiştir [126]. Tahıllarda yaygın olarak bulunan fitatlar doza bağlı bir şekilde demir emilimi inhibe eder ve az miktarlarda bulunması bile güçlü bir etkiye sahiptir [8]. Besinde 50 mg fitat varlığının demir emilimini %70 oranında azalttığı belirtilmiştir [150]. Bu çalışmada tam buğday unu ile oluşturulmuş kontrol grubunun biyoerişilebilirliğinin literatürden edinilen bilgilerle paralel olduğu görülmektedir.

Kontrol grubu hariç tutularak sindirim öncesi demir miktarları kıyaslandığında DS, DDS, EDS gruplarının kendi içerisinde anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ( $P>0,05$ ). Sindirim sonrası miktarlar açısından en düşük değere DS grubunun, en yüksek değerlere ise EDS grubunun sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte zenginleştirme yapılan 3 grup içerisindeki farklılık anlamsızdır ( $P>0,05$ ). %BE değerleri incelendiğinde her üç örnek birbirlerinden anlamlı sayılabilecek farklılıklar içermemektedir ( $P>0,05$ ). Burada DS grubunun standart sapmasının diğer gruplardan oldukça yüksek çıktığı, paraleller arası farklılığın daha yüksek olduğu görülmektedir. DS grubundan yapılan örneklemeler sırasında fitik asit:demir molar oranının farklı olmasından dolayı %BE'nin analiz sonuçlarının daha geniş aralıklarda çıktığı düşünülmektedir. Kapsülleme yöntemleri açısından emülsifikasyon yöntemi ile üretilen kapsüllerden alınan örneklerin damlatma yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır. Damlatma yönteminde kapsül materyalinin demir ile fitik asit arasına koruyucu bir bariyer olma görevini efektif bir şekilde karşılayamadığı düşünülmektedir.

Bölüm 4.1.2. giriş kısmında verilen bilgiler doğrultusunda literatürdeki çalışmalarla kıyaslama yapmak çok doğru bir yaklaşım sayılmasa da güncel kaynaklardan derlenen demir sülfat biyoerişilebilirliği üzerine yürütülen çalışmalar

Tablo 4.3.'de verildiği şekildedir. Görüldüğü üzere demir sülfatın farklı model gıdalarda kullanımı, farklı yöntemlerle incelenmiş ve farklı sonuçlar tespit edilmiştir.

**Tablo 4.3. Tahıl ürünleri ile yapılan farklı çalışmalardan demir biyoerişebilirliği**

Model gıda	Yöntem	Demir sülfat Biyoerişebilirliği ve/veya biyoyararlılığı	Kaynak
Ekmek	Diyaliz /CaCo-2 hücreler	60 ng ferrikform/mg protein	[151]
Ekmek	Çözünürlük /diyaliz	%19,75 / %40,11	[48]
Çapati ekmeği	Çözünürlük	%15,4	[152]
Bisküvi	Çözünürlük	%27	[153]

Bryszewska, tarafından piyasadan alınan gıda takviyeleri ve hazırlanan mikroenkapsüle demir preparatlarında biyoerişebilirlik araştırılmıştır. Mikroenkapsüllerin üretilmesinde spreylendirme yöntemi kullanılmış, kaynak olarak ise demir sülfat ve demir laktat tercih edilmiştir. Enkapsüle demir sülfatın biyoerişebilirliği %24,6 bulunurken, kapsüller sandviç ekmeğine işlendiğinde bu oran %45'e çıkmıştır [117].

Bryszewska ve ark. [154], askorbik asit ilave edilerek ve edilmeyerek demir sülfat/demir laktat kapsüllerini ekmek üretiminde kullanmışlardır. Askorbik asit ilavesi yapılmaksızın geleneksel yöntemlerle üretilen ekmeklerde demir sülfat kapsüllerin biyoerişebilirliği %95,22, ekşi maya tekniğinde ise %66,29 olarak saptanmıştır.

Bir başka çalışmada ekmek 6 farklı formda demir ile takviye edilmiştir. Örneklerde biyoerişebilirlik saptanması için çözünürlük ve diyaliz yöntemleri kullanılmıştır. Analiz verileri incelendiğinde diyalize olabilir demir miktarının 1,41-2,66 mg/100 g arasında değiştiğini ve demir sülfat- mikroenkapsüle demir sülfat arasında anlamlı bir farklılık olmadığını ifade etmişlerdir. Çalışma kapsamında NaFeEDTA'nın en yüksek diyalize olabilir demir içeriğine sahip olduğu, CaCo-2 hücre çalışmaları sonucundan daha iyi emilim gösterdiği ancak kapsül formların da duyuşsal özelliklerden dolayı iyi birer alternatif olduğu ifade edilmiştir [48].

### 4.1.3. Tahıl Atıştırmalıklarında Pişme Kaybı ve Ürün Verimi Hesaplanması

Tahıl barları 3.2.3 bölümünde açıklandığı şekilde hazırlanmıştır. Pişirme sonrası örneklerden tekrar tartım alınarak Tablo 4.4.'de verilen sonuçlara ulaşılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda kontrol grubu ile diğer gruplar arasında istatistiksel olarak anlam ifade edecek bir farklılık olmadığı görölmektedir ( $P>0,05$ ).

Piřirme esnasında ağırlık kaybına yol ačan başlıca bileşen sudur. Yani pişme kaybı daha çok matris-su etkileşimi ile açıklanabilen bir parametredir [155]. Nitekim pişme kaybı sonuçları ürünlerin nem değerleri (Tablo 4.1.) ile ilişkilendirildiklerinde; birbiri ile uyumlu sonuçlar çıktığı görölmektedir.

**Tablo 4.4. Tahıl bazlı atıştırmalıklarda pişme kaybı ve ürün verimi**

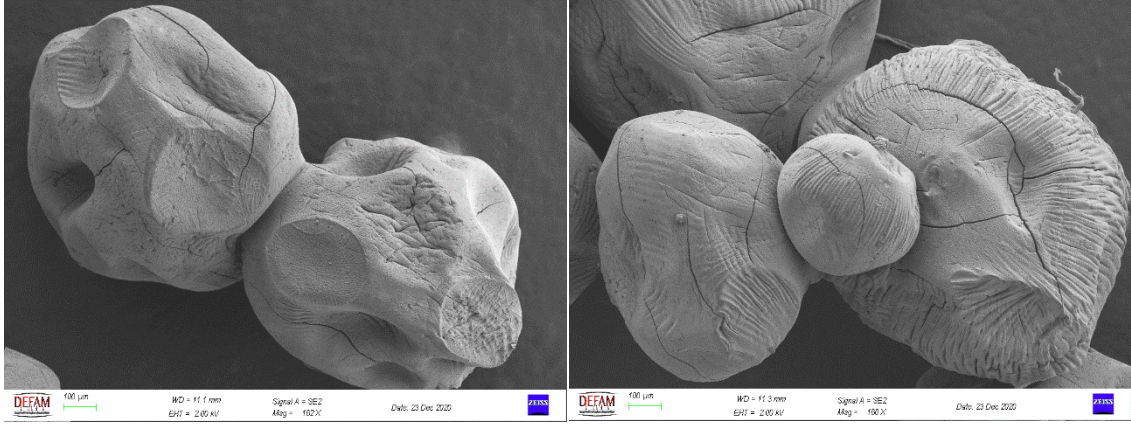
Örnek	Pişme kaybı (%)	Ürün Verimi (%)
K	34,21±0,35 <sup>a</sup>	65,79±0,35 <sup>a</sup>
DS	34,38±0,11 <sup>a</sup>	66,62±0,11 <sup>a</sup>
DDS	34,53±0,01 <sup>a</sup>	65,46±0,01 <sup>a</sup>
EDS	34,68±0,14 <sup>a</sup>	65,32±0,14 <sup>a</sup>

### 4.2. Mikrokapsüllerde SEM Analizi

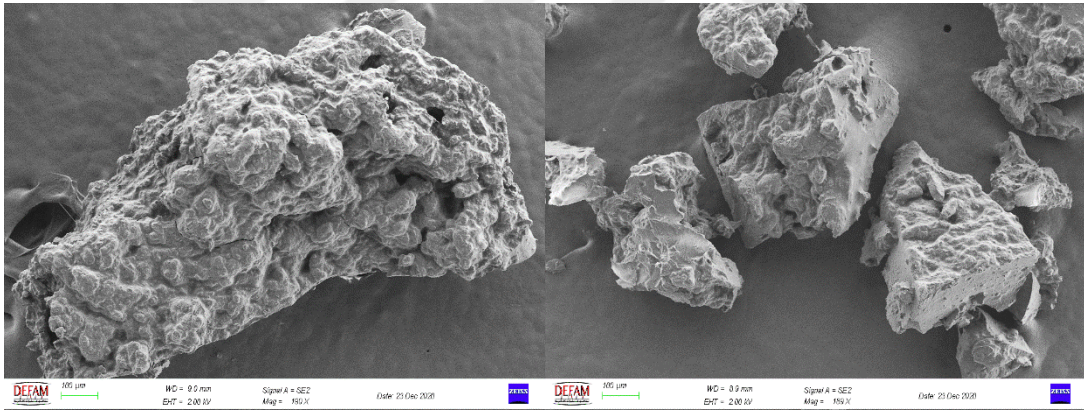
Damlatma yöntemi ve emülsifikasyon ile elde edilen mikrokapsüllerin dış yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile sağlanmış; görüntüler Şekil 4.1. ve 4.2.'de verilmiştir. Farklı yakınlaştırma oranları kullanılarak örneklerin farklı bölgelerinden düşük vakum altında SE dedektör vasıtasıyla kaplanma yapılmaksızın görüntüler alınmıştır.

Kapsül morfoljisi akışkanlık, dağılma, stabilite gibi faktörleri etkilediği için önemli bir parametredir ve bunu incelemek için geliştirilen birçok yöntem bulunmaktadır. Kapsül iç ve dış mikro yapısının incelenmesini sağlayan yöntemlerden biri de SEM görüntülemedir [156]. Damlatma yönteminin gösterildiği Şekil 4.1 incelendiğinde kapsüllerin göçüklü bir yapıda oldukları dikkat çekmektedir. Bu

yapının kurutma sırasında hava kabarcıklarının genişlemesi ile oluştuğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.1. İyonik jelasyon yöntemi ile oluşturulan mikrokapsüllerin SEM görüntüleri**



**Şekil 4.2. Emülsifikasyon yöntemi ile oluşturulan mikrokapsüllerin SEM görüntüleri**

Alamilla-Beltran ve ark., tarafından yapılan çalışmada düşük sıcaklıkta su difüzyonunun daha yavaş olduğu ve bunun kapsül deformasyonu, büzülme ya da çökmesi için daha fazla zaman sağladığı ifade edilmektedir. Yani kapsüllerde büzülme ve sıcaklığa neden olan mekanizmanın genelde düşük sıcaklıklarda kurutulduğunda daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır [157].

Demirin iyonik jelasyon (damlatma) yolu ile aljinata gömülerek kullanıldığı bir başka çalışmada kapsülasyonun lipid oksidasyonuna etkileri görülmek istenmiştir. Bu amaçla elde edilen kapsüllerin SEM görüntüleri de ayrıntılı olarak incelenmiştir. Boş ve demir yüklü kapsüller kıyaslandığında; demir yüklü kapsüllerde bütün yüzeye yayılan daha derin ve pürüzlü bir yapının olduğu gözlenmiştir [158].

Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere emülsifikasyon örneklerinin daha düzensiz ve iyonik jelasyon ile üretilen kapsüllere kıyasla az gözenekli bir yapıya sahiptir.

Khosroyar ve ark., emülsifikasyon metodunda kalsiyum ve aljinat çözeltileri kullanılarak ferrik sakkarat enkapsüle etmişlerdir. Çalışmada kapsülleme esnasındaki değişkenlerin kapsül morfolojisine ve verimliliğe etkisi incelenmiştir. Karıştırma hızı artırıldığında şiddetli karıştırma nedeniyle kapsül morfolojisinin bozulduğu tespit edilmiş ve literatür çalışmalarıyla bu sonuç desteklenmiştir. Yavaş karıştırma hızının ise damlacıkların yüzeyde birikmesine sebep olduğu ve daha büyük boyutlu, yağ içeriği fazla olan kapsüller elde edildiğini bildirmişlerdir. Çekirdek/duvar oranı söz konusu olduğunda; bu oranın artması ile kapsül morfolojisi küreselden düzensiz hale doğru artış göstermiştir. Ortalama parçacık boyutu artarken parçacık boyutu dağılımı genişlemiştir [159].

Kapsüllerde gözenek yoğunluğunun ve boyutunun ise kullanılan çözeltilere bağlı olarak değişebileceği literatürdeki çalışmalarda açıklanmıştır. Emülsifikasyon yöntemi ile kapsüllerin oluşturulduğu bir başka çalışmada; polimer konsantrasyonunun yağ konsantrasyonuna kıyasla artırılması ile hem gözenekliliğin hem de gözenek boyutunun azaldığı bildirilmiştir [160].

### **4.3. Tahıl Atıştırmalıklarının Fiziksel Analizleri**

#### **4.3.1. Tahıl Atıştırmalıklarında Renk Tayini**

Renk, ürünlerin kabul edilebilirliğini ve tüketici tercihini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Rengin doğrudan ya da dolaylı olarak kabul edilebilirlik üzerinde etkili olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur [161]. Kapsül ilavesinin

galetelerin fiziksel özelliklerine etkisinin anlaşılması için ürünlere yapılan renk analizi sonucu Tablo 4.5.'de verildiği şekildedir.

**Tablo 4.5. Tahıl bazlı atıştırma malıkların renk L\*, a\*, b\* değerleri**

Örnek	L* değeri	a* değeri	b* değeri
K	56,76±3,95 <sup>b</sup>	9,74±1,34 <sup>a</sup>	27,17±1,63 <sup>a</sup>
DS	53,76±3,80 <sup>a</sup>	10,73±1,24 <sup>b</sup>	27,34±1,26 <sup>a</sup>
DDS	53,05±1,64 <sup>a</sup>	11,92±0,59 <sup>c</sup>	29,18±1,41 <sup>b</sup>
EDS	52,45±1,69 <sup>a</sup>	12,97±0,76 <sup>c</sup>	29,25±1,09 <sup>b</sup>

Örnekler L\* değeri sonuçları açısından ele alındığında kontrol grubunun diğer 3 gruptan istatistiksel olarak anlamlılık ifade edecek ölçüde yüksek olduğu görülmektedir (P<0,05). Gerçekleştirilen renk analizi demir katkısız atıştırma malıkların daha açık renge sahip olduğunu belirtmektedir.

Tablo 4.5.'de verilen değerler doğrultusunda; kontrol grubu en düşük a\* değerine sahip olurken bunu sırasıyla DS ve kapsülasyon uygulanan gruplar takip etmiştir. Aynı istatistiki farklılık ürün grupları arasında b\* değerlerinde de görülmüştür. Yani demir sülfatın damlatma ve emülsifikasyon yolu ile kapsülasyonu ürünlerin renklerinin daha koyu ve kırmızımsı renge sahip olmasına sebep olmuştur. Demir sülfatın toz formunun kremimsi beyaz renkte olması ancak sodyum aljinat içerisinde çözüldüğünde turuncuya yakın renk alması bu durumu açıklar niteliktedir. Bununla birlikte panelistler tarafından gerçekleştirilen duyusal analiz sonrası K ve DS ürünleri renk olarak nispeten daha düşük puanlar almıştır. Yine de bu farklılık istatistiksel olarak bir önem arz etmemektedir (P>0,05) ve tüm gruplar aynı düzeyde kabul görmüştür.

Martínez-Bustos ve ark., tarafından folik asit ve demir fumarat sprey kurutma yöntemi ile kapsüllenenek mısır ununa işlenmiştir. Zenginleştirilmiş mısır unu tortilla yapımında kullanılarak fonksiyonel özelliği artırılmaya çalışılmıştır. Ürünlerin renk analizinin de gerçekleştirildiği çalışmada; L\* ve b\* değerleri arasında bir farklılık bulunmamıştır. Ancak kontrol grubu a\* değeri kapsülasyon duvar materyali olarak normal nişasta kullanılan gruptan düşük çıkarken; ekstrüde nişasta kullanılan gruptan yüksek çıkmıştır [162].

Demir sülfatın spreyci kurutma teknolojisi kullanarak kapsüle edildiği bir başka çalışmada model gıda kullanılmaksızın kapsüller üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Çekirdek materyali olan demir sülfat oranı %10'dan %40'a çıkarıldığında kapsüllerin L\*, a\*, b\* değerleri birbirleri ile benzer sonuçlar vermiştir. Ek olarak çalışmada çekirdek materyal ile kapsüllerin SEM ve dijital görüntülerine yer verilmiştir. Kullanılan demir sülfatın ham halinin turkuaz renkli olduğu ve kapsülleme ile krem rengine toz formuna dnüştüğu bildirilmektedir. Ancak hem olmayan demir kaynağı olarak sığır eritrositi kullanılıp çekirdek oranı %5'ten %20'ye çıkarıldığında kapsül L\*, a\*, b\* değerlerinde anlamlı derecede artış grlmüştir [163].

Literatür alışmaları incelendiğinde kapsüle demirin renginin kullanılan demir formundan, duvar materyalinden ve duvar çekirdek oranı gibi faktörlerden etkilendiği anlaşılmaktadır.

#### 4.3.2. Tahıl Atıştırmalıklarında Tekstür Analizi

Üretim sonrası örnekler oda sıcaklığında gelmesi için 2 saat bekletilmiştir. Galetalarda tekstürün önemli göstergeleri olarak kırılđanlık ve kırılma mesafesi değerleri incelenmiştir. Elde edilen değerler Tablo 4.6.'da gsterilidiği şekildedir. Demir ilavesi ile örneklerin tekstürel özelliklerinde kontrol gurubu ile istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık oluşmamıştır ( $P>0,05$ ). Benzer şekilde kapsülasyon tekniği de tekstür özelliklerini anlamlı olarak değiştirecek bir etki sebebiyet vermemiştir ( $P>0,05$ ).

**Tablo 4.6. Tahıl bazlı atıştırmalıkların tekstür analizi sonuçları**

Örnek	Kırılđanlık (g)	Kırılđanlık (N)	Mesafe (mm)
K	2952,49±909,19 <sup>a</sup>	28,93±8,91 <sup>a</sup>	1,16±0,36 <sup>a</sup>
DS	3344,10±890,63 <sup>a</sup>	32,77±8,73 <sup>a</sup>	1,21±0,36 <sup>a</sup>
DDS	3200,85±875,65 <sup>a</sup>	31,36±8,58 <sup>a</sup>	1,25±0,39 <sup>a</sup>
EDS	2749,75±995,46 <sup>a</sup>	26,94±9,75 <sup>a</sup>	1,28±0,43 <sup>a</sup>

Demirin farklı formlarıyla (demir sülfat, demir fumarat, indirgenmiş demir, NaFeEDTA, mikroenkapsüle demir sülfat, mikroenkapsüle demir fumarat ve katkısız



un) katkı yapılan Fransız ekmeğindeki mineral biyoerişilebilirliğini saptamak için gerçekleştirilen çalışmada aynı zamanda unun ve ekmeğin reolojik özellikleri de incelemiştir. İlave edilen demirin niteliğinin farinograf ve ekstensograf parametrelerini etkilese de ekmeğin teknolojik özelliklerinde kalite kaybına sebebiyet vermediği görülmüştür. Elde edilen veriler kapsamında demir katkılı unların ekmeçilik teknolojisi için uygun olduğu düşünülmüştür [48].

Benzer şekilde zenginleştirilmiş sandviç ekmeğinin teknolojik ve duysal özelliklerini karşılaştırma amacı ile yürütülen çalışmada indirgenmiş demir, ferrik pirofosfat ve demir sülfat kullanılmıştır. Mikrokapsüllenmiş demir sülfat ekmeğinin farinograf ve ekstensograf özelliklerini değiştirmiştir. Ancak zenginleştirilmiş örneklerle standart formülasyon arasında çalışma kapsamında değerlendirilen diğer parametreler ve tüketici kabulü açısından anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir. Bu sebeple nihai ürünün özellikleri bozulmadan tüm kaynakların verimli bir şekilde kullanılma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır [70]. Literatürdeki değinilen çalışmalara benzer şekilde bu çalışmada da ürünlerin tekstürel özellikleri tam buğday unu kullanılan ürünün tekstürel özelliklerine yakın çıkmıştır.

Galetalarda mikroalg etkisinin mineral, renk, tekstür ve reolojik özellikler üzerine etkisinin araştırıldığı çalışma kapsamında örnekler 2 tür mikroalg ilave edilmiştir. Galetalarda tekstürün önemli bir parametresi olarak kırılma ve kırılma noktası ölçülmüştür. Kırılma değerleri 32,7- 40,6 N bulunurken; mesafe 0,89 ile 1,3 mm arası tespit edilmiştir [140].

Endüstriyel atık olarak görülen bira posasının fonksiyonel gıda bileşeni olarak kullanılma potansiyelini saptamak için %15-25-35 oranlarında buğday ununa ikame olarak galetalarda kullanılmıştır. Çalışma kapsamında ürünlerin tekstürel özellikleri de incelenerek kırılma ve kırılma noktasındaki uzaklık ölçülmüştür. Kırılma değerleri 35,4- 71,4 N arası değişmiştir. Mesafe ise kontrol grubunda 1,1 mm saptanırken posa ilavesi ile düşüş göstermiştir [135]. Fırıncılık ürünleri içerisinde galeta grubu ile yürütülen çalışmalar incelendiğinde çalışma kapsamında bulunan değerlere yakın olduğu görülmektedir.

#### 4.4. Tahıl Atıştırmalıklarında Duyusal Değerlendirme

MCBÜ öğretim görevlileri ve lisansüstü öğrencilerinden oluşan 20 kişilik bir panelist grubuna analiz öncesi bilgilendirme yapılmıştır. Örnekler farklı kombinasyonlu 3 basamaklı sayılarla kodlanarak su ile tadım yapılması için panelistlere sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.7. Tahıl bazlı atıştırmalıkların duyuusal değerlendirme sonuçları**

Örnek	Görünüş	Renk	Lezzet	Doku	Genel Beğeni
K	3,97±0,87 <sup>a</sup>	4,08±0,83 <sup>a</sup>	4,05±1,05 <sup>a</sup>	4,31±0,69 <sup>a</sup>	4,03±0,87 <sup>a</sup>
DS	3,92±0,98 <sup>a</sup>	4,00±0,94 <sup>a</sup>	4,00±1,22 <sup>a</sup>	3,97±1,20 <sup>a</sup>	3,89±1,15 <sup>a</sup>
DDS	4,08±0,78 <sup>a</sup>	4,18±0,65 <sup>a</sup>	4,03±0,97 <sup>a</sup>	4,29±0,80 <sup>a</sup>	4,16±0,75 <sup>a</sup>
EDS	4,22±0,82 <sup>a</sup>	4,32±0,82 <sup>a</sup>	3,70±1,14 <sup>a</sup>	4,05±0,97 <sup>a</sup>	3,89±0,93 <sup>a</sup>

Panelistler tarafından yapılan duyuusal puanlamalarına göre ürünler kontrol grubundan görünüş, renk, lezzet ve doku olarak anlamlı bir farklılık göstermemiştir (P>0,05). Renk analizi sonrası kontrol ve demirin direk kullanıldığı grup kapsüle demir içeren gruptan farklılık gösterse bile tüketici tercihini gösteren görünüş ve renk kriterlerinin puanlamaları yakın değerler almıştır. Tahıl atıştırmalıklarının doku puanlamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunmaması ise yapılan tekstür analizi sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Gıdaların demir ile zenginleştirilmesinde istenmeyen etkilerinin ortadan kaldırılması için demir sülfat lipozom yöntemi ile kapsüle edilerek kullanılmıştır. Çalışmada model gıda olarak süt tercih edilmiştir. Demir lipozomlarının eklenmesi herhangi bir duyuusal değişikliğe neden olmazken, kaynağın direk kullanılması tatsız ve kokusuz bir çökelek oluşumuna neden olmuştur. Lipozom örneklerinin kontrol grubu ile benzer değerler alarak çökelti, renk değişimi veya hoş olmayan kokuya sebebiyet vermediği bildirilmiştir [73]. Bahsi geçen çalışmada sıvı ürün kullanımı demir sülfatın çökelti ve ısıl işlem sonucu pıhtı oluşumuna sebep olduğu görülmüştür. Tahıl atıştırmalıklarının kullanıldığı bu çalışmada demirin direk kullanılmasının böyle bir yan etkisini gözlemek mümkün olmamıştır. Bu sebeple demir kaynağının direkt kullanımı ve kapsül kullanımı arası grupta farklılık olmadığı düşünülmektedir.

Çedar peynirlerine demir katkısının etkisinin araştırıldığı çalışmada, peynirler demir sülfat ve kapsüle demir sülfat ile zenginleştirilerek kontrol (zenginleştirilmeyen) grup ile kıyaslanmıştır. Gerçekleştirilen duyu panel sonucu kapsüle demir ile zenginleştirmenin duyu özellikleri olumsuz etkilediği belirtilmiştir. Kapsül demir sülfat ile takviye edilen peynirlerin özellikle tat ve kabul edilebilirlik olmak üzere test edilen tüm parametreler bakımından kontrol gurubundan daha düşük puanlar aldığı ifade edilmiştir [148].



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Demir global ölçekte eksikliği en fazla görülen mineraldir ve beslenme ile vücut fonksiyonlarını karşılayacak düzeyde alınmaması demir eksikliği anemisinin en büyük nedenlerindendir. Son yıllarda birçok ülkede bunun önüne geçebilmek için yasal düzenlemeler getirilmiş ve çalışmalar artırılmış. Bu çalışma kapsamında Türkiye’de beslenmenin temelini oluşturan tahıldan yola çıkılarak tahıl bazlı bir ürün demir ile zenginleştirilmiştir. Ancak gıda bilimcilerin son yıllarda dikkatini çeken bir konu vücuda alınan demirin tamamının sindirilememesidir. Gıda matrisi ve emilimi inhibe eden bileşikler bu durumun başlıca niteliklerindendir. Enkapsülasyon çalışmaları biyoaktif bileşenin koruyucu bir bileşenle çevrilerek bağırsaklara kadar mide asiti ve enzimlerin etkisine daha az maruz kalmasını amaçlamaktadır. Böylece bileşenin emilimini artırmak amaçlanmaktadır.

Çalışma kapsamında tam buğday ununda bol miktarda bulunan fitik asitin demiri inhibe edici etkisi azaltılmak istenmiştir. Bu amaçla demir emülsifikasyon ve damlatma yöntemi ile mikroenkapsüle edilmiştir ve kapsüllerin dış yüzey mikro yapısı SEM görüntüleme cihazı ile incelenmiştir. Kapsülasyonun tüketici beğenisi ve gıdanın fiziksel özelliklerini etkileyip etkilemediğinin tespiti pişme kaybı, verim, renk, tekstür ve duyu analizi ile gerçekleştirilmiştir. Örneklerde yalnızca renk L\*, a\*, b\* değerlerinde değişiklik görülmüştür. Kapsül eklenen gruplar, diğer 2 gruba göre daha koyu renkli ve kırmızımsı tespit edilmiştir. Ancak panelistlerin yaptıkları değerlendirme sonucu görünüş, renk, doku, lezzet ve genel beğeni olarak tüm gruplar kontrol ile benzer bulunmuştur.

Kapsülasyonun tahıl atıştırmalıklarının kimyasal yapısına etkisini gözlemek için ise genel bileşim ve biyoerişilebilirlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekler nem, kül, protein ve demir analizi yapıldıktan sonra *in vitro* statik sindirim modellemesi uygulanmıştır. Tüm gruplarda bu değerler birbiri ile yakınlık göstermiştir. Biyoerişilebilirlik değerlendirmesi için sindirim sonrası tekrar demir analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde emülsifikasyon yöntemi damlatma yöntemine göre daha başarılı bulunmuştur. Damlatma yöntemi %biyoerişilebilirlik olarak direkt demir sülfat kullanımından fazla olmasına rağmen istatistiksel olarak yakınlık göstermiştir.

Gerçekleştirilen analizler kapsülasyonun özellikle de emülsifikasyon yönteminin demir biyoerişilebilirliğini artırmada başarılı olduğu görülmüştür. Analiz verileri 50 g nihai ürünün 9,45 mg Fe içerdiğini göstermektedir. Bu özelliği ile ele alındığında emülsifikasyon ile kapsüle edilen 29,44 mg FeSO<sub>4</sub> takviye için ürünün duyusal özelliklerinde ve kabul edilebilirliğinde istenmeyen bir etki yaratmaksızın kullanılabilir. Bununla birlikte içerikteki demirin de üründe daha homojen dağıldığı düşünülmektedir. Biyoerişilebilirlik oranı hesaba katılarak; 1 porsiyon ürün tüketildiğinde günlük tavsiye edilen tüketim miktarının %15'i (2,7 mg) bağırsaklardan emilim için hazır formdadır.

Kimyasal yöntemlerle kapsülasyon laboratuvar koşulları, kimyasalların yapısı, analiz değişkenlerinden dolayı fiziksel yöntemlere göre değişkenlik ve sapmalar gösterebilmektedir. Bu nedenlerle gerekli optimizasyon çalışmaları yapılarak hem emülsifikasyon hem de damlatma yönteminin başarısının artırılacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- 1.Sammugam, L., & Pasupuleti, V. R. Balanced diets in food systems: emerging trends and challenges for human health. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. 59(17), 2746-2759.
- 2.Whitney, E. N., & Rolfes, S. R. *Understanding nutrition*. Cengage Learning, United States Of America, Boston, 2018, 662 s.
- 3.USDA. *Nutrition and your health: dietary guidelines for Americans*. United States Department of Health and Human Services. US. 2000. 37 s.
- 4.Değerli, C., & El, S. N. Optimum Beslenmede Sağlıklı Atırtırmalıkların Yeri. *Gıda*, 2019, 44(6), 988-999.
- 5.Harris, E. D. *Minerals in food: Nutrition, metabolism, bioactivity*. DEStech Publications Inc., Pennsylvania, USA, 2014, 368 s.
- 6.Watson, R. R. *Nutrition and functional foods for healthy aging*. Ed.: Ronald Ross Watson. Academic Press, London, United Kingdom, 2017, 361
- 7.Samur, G. *Vitaminler, mineraller ve sağlığımız*. T.C. Sağlık Bakanlığı Yayınları, Klasmat Matbaacılık, Ankara, 2008.
- 8.WHO. *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*. World Health Organization Publications, China, 2004, 340 s.
- 9.De la Guardia, M., & Garrigues, S. *Handbook of mineral elements in food*. Ed.: Miguel de la Guardia and Salvador Garrigues, Wiley Blackwell, United Kingdom, 2015, 766 s.
- 10.WHO. *Worldwide prevalence of anaemia 1993-2005: WHO global database on anaemia*. Ed.: Bruno de Benoist, Erin McLean, Ines Egli, Mary Cogswell, İspanya, 2008, 14 s.
- 11.WHO. *The global prevalence of anaemia in 2011*. Cenevre, İsviçre, 2015.
- 12.Bilgin, Z., & Demirci, N. Gebelikte Demir ve Folat Eksikliği Anemisinde Kanıtı Dayalı Güncel Yaklaşımlar. *Zeynep Kamil Tıp Bülteni*, 2019, 50(3), 167-174.
- 13.Beard, J.L., Finch, C. A. (Ed.). (2012). *Iron fortification of foods*. Ed.: Fergus Clydesdale, Academic Press, USA, 2012, 171 s.
- 14.Anonim, 2018. *Food Fortification İnitative*. Erişim tarihi 16.12.2018 [http://www.ffinetwork.org/global\\_progress/index.php](http://www.ffinetwork.org/global_progress/index.php)
- 15.Dias, D. R., Botrel, D. A., Fernandes, R. V. D. B., & Borges, S. V. Encapsulation as a tool for bioprocessing of functional foods. *Current Opinion in Food Science*, 2017, 13, 31-37.
- 16.Đorđević, V., Balanč, B., Belščak-Cvitanović, A., Lević, S., Trifković, K., Kalušević, A., ... & Nedović, V. Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds. *Food Engineering Reviews*, 2015, 7(4), 452-490.
- 17.Zuidam, N. J., & Shimoni, E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*, Springer, New York, 2010, 3-29.
- 18.Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, 2016, 13, 76-83.

19. Kwak, H. S., Yang, K. M., & Ahn, J. Microencapsulated iron for milk fortification. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2003, 51(26), 7770-7774.
20. Xia, S., & Xu, S. Ferrous sulfate liposomes: preparation, stability and application in fluid milk. *Food research international*, 2005, 38(3), 289-296.
21. Chang, Y. H., Lee, S. Y., & Kwak, H. S. Physicochemical and sensory properties of milk fortified with iron microcapsules prepared with water-in-oil-in-water emulsion during storage. *International Journal of Dairy Technology*, 2016, 69(3), 452-459.
22. Abbasi, S., & Azari, S. Efficiency of novel iron microencapsulation techniques: fortification of milk. *International journal of food science & technology*, 2011, 46(9), 1927-1933.
23. Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S. K., & Singh, A. K. Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method–Milk fortification. *Food Hydrocolloids*, 2015, 43, 622-628.
24. Gharibzahedi S.M.T, Jafari, S. M. Nanoencapsulation of Minerals. *Nanoencapsulation of food bioactive ingredients: principles and applications*. Academic Press, London, United Kingdom, 2017. 333-389
25. Rice, W. H., & McMahon, D. J. Chemical, Physical, and Sensory Characteristics of Mozzarella Cheese Fortified Using Protein-Chelated Iron or Ferric Chloride. *Journal of dairy science*, 1998, 81(2), 318-326.
26. Kwak, H. S., Ju, Y. S., Ahn, H. J., Ahn, J., & Lee, S. Microencapsulated iron fortification and flavor development in Cheddar cheese. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 2003, 16(8), 1205-1211.
27. Jalili, M. Chemical composition and sensory characteristics of Feta cheese fortified with iron and ascorbic acid. *Dairy Science & Technology*, 2016, 96(4), 579-589
28. Kim, S. J., Ahn, J., Seok, J. S., & Kwak, H. S. Microencapsulated iron for drink yogurt fortification. *Asian-australasian journal of animal sciences*, 2003, 16(4), 581-587.
29. Onsekizoglu Bagci, P., & Gunasekaran, S. Iron-encapsulated cold-set whey protein isolate gel powder-Part 2: Effect of iron fortification on sensory and storage qualities of Yoghurt. *International journal of dairy technology*, 2016, 69(4), 601-608.
30. Subash, R., & Elango, A. Microencapsulated iron for fortification in yoghurt. *Food Science Research Journal*, 2015, 6(2), 258-262.
31. Oshinowo, T., Diosady, L., Yusufali, R., & Laleye, L. Stability of salt double-fortified with ferrous fumarate and potassium iodate or iodide under storage and distribution conditions in Kenya. *Food and nutrition bulletin*, 2004, 25(3), 264-270.
32. Li, Y. O., Yadava, D., Lo, K. L., Diosady, L. L., & Wesley, A. S. Feasibility and optimization study of using cold-forming extrusion process for agglomerating and microencapsulating ferrous fumarate for salt double fortification with iodine and iron. *Journal of microencapsulation*, 2011, 28(7), 639-649.
33. Romita, D., Cheng, Y. L., & Diosady, L. L. Microencapsulation of ferrous fumarate for the production of salt double fortified with iron and iodine. *International journal of food engineering*, 2011, 7(3).

34. Biebinger, R., Zimmermann, M. B., Al-Hooti, S. N., Al-Hamed, N., Al-Salem, E., Zafar, T., ... & Hurrell, R. F. Efficacy of wheat-based biscuits fortified with microcapsules containing ferrous sulfate and potassium iodate or a new hydrogen-reduced elemental iron: a randomised, double-blind, controlled trial in Kuwaiti women. *British Journal of Nutrition*, 2009, 102(9), 1362-1369.
35. Hurrell, R., Ranum, P., de Pee, S., Biebinger, R., Hulthen, L., Johnson, Q., & Lynch, S. Revised recommendations for iron fortification of wheat flour and an evaluation of the expected impact of current national wheat flour fortification programs. *Food and nutrition bulletin*, 2010, 31(1), 7-21.
36. Bülbül, S.H. Çocuk beslenmesinde demirin yeri ve önemi. *Sürekli Tıp Eğitimi*, 2004, 13(12), 446-450.
37. Yurdakök, K., & İnce, O. T. Çocuklarda demir eksikliği anemisini önleme yaklaşımları. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 2009, 52(4), 224-31.
38. Yavaş, Yusuf. Hemiselülaz enziminin tam buğday unlu keklerin fiziksel özellikleri üzerine etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 51 s. (Yüksek Lisans Tezi)
39. Güven, Özge. Extrüzyon işleminin enginar yaprağı tozunda bulunan biyoaktif bileşenlere ve *in vitro* biyoerişilebilirliklerine etkisi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2016, 92 s. (Yüksek Lisans Tezi)
40. Şensu, Eda. Bayburt'a Özgü Üç Farklı Berberis ve Hippophae Rhamnoides Bitkilerinin Biyoaktif Bileşiklerinin, Biyoaktivitelerinin Ve *In Vitro* Biyoyararlılıklarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2018, 143 s. (Yüksek Lisans Tezi)
41. Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., ... & Clemente, A. INFOGEST static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, 2019, 14(4), 991.
42. Mackie, A., & Rigby, N. InfoGest consensus method. In *The Impact of Food Bioactives on Health*. Springer, New York, 2015, 13-22.
43. Saini, R. K., Nile, S. H., & Keum, Y. S. Food science and technology for management of iron deficiency in humans: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 53, 13-22.
44. Abbaspour, N., Hurrell, R., & Kelishadi, R. Review on iron and its importance for human health. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 2014, 19(2), 164.
45. Katsarou, A., & Pantopoulos, K. Basics and principles of cellular and systemic iron homeostasis. *Molecular aspects of medicine*, 2020, 75.
46. Lieu, P. T., Heiskala, M., Peterson, P. A., & Yang, Y. (2001). The roles of iron in health and disease. *Molecular aspects of medicine*, 22(1-2), 1-87.
47. Semiz, M., Uslu, A., Korkmaz, S., Demir, S., Parlak, I., Sencan, M., ... & Uncu, T. Assessment of subjective sleep quality in iron deficiency anaemia. *African Health Sciences*, 2015, 15(2), 621-627.
48. Rebellato, A. P., Lima, J. C., Silva, J. G. S., Steel, C. J., & Pallone, J. A. L. Mineral bioaccessibility in French breads fortified with different forms iron and its effects on rheological and technological parameters. *Journal of Cereal Science*, 2017, 74, 56-63.
49. Akca, S. O., & Bostanci, M. Ö. The impact of anemia and body mass index (BMI) on neuromotor development of preschool children. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 2017, 63(9), 779-786.



- 50.T.C. Sağlık Bakanlığı. 12-23 Aylık Çocuklarda Demir Kullanım Araştırması Raporu. Sağlık Bakanlığı Ana Çocuk Sağlığı Aile Planlaması Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2009.
- 51.Huma, N., Salim-Ur-Rehman, Anjum, F. M., Murtaza, M. A., & Sheikh, M. A. Food fortification strategy—preventing iron deficiency anemia: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2007, 47(3), 259-265.
- 52.Thompson, B. Food-based approaches for combating iron deficiency. *Nutritional anemia*, 2007, 337, 1-21.
- 53.Diego Quintaes, K., Barberá, R., & Cilla, A. Iron bioavailability in iron-fortified cereal foods: The contribution of *in vitro* studies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2017, 57(10), 2028-2041.
- 54.Anonim, 2020. Food Fortification İnitative. Erişim tarihi 21.08.2020 [http://www.ffinetwork.org/global\\_progress/index.php](http://www.ffinetwork.org/global_progress/index.php)
- 55.Cardoso, C., Afonso, C., Lourenço, H., Costa, S., & Nunes, M. L. Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk–benefit evaluation of food. *Trends in Food Science & Technology*, 2015, 41(1), 5-23.
- 56.US Food and Drug Administration. Bioavailability and bioequivalence studies for orally administered drug products—general considerations. US Department of Health and Human Services, Washington, 2003.
- 57.Parada, J., & Aguilera, J. M. Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of food science*, 2007, 72(2), R21-R32.
- 58.Berkel, Müzeyyen. Salamuraya işlenen bazı sebzelerde bulunan fenolik bileşiklerin biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2018, 152 s. (Doktora Tezi)
- 59.Santos, D. I., Saraiva, J. M. A., Vicente, A. A., & Moldão-Martins, M. Methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds and nutrients. In *Innovative thermal and non-thermal processing, bioaccessibility and bioavailability of nutrients and bioactive compounds*, 2019, Woodhead Publishing, 23-54.
- 60.Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, 13(2), 155-171.
- 61.Thakur, N., Raigond, P., Singh, Y., Mishra, T., Singh, B., Lal, M. K., & Dutt, S. Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 97, 366-380.
- 62.Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 2017, 62, 119-132.
- 63.Alegría-Torán, A., Barberá-Sáez, R., & Cilla-Tatay, A. Bioavailability of minerals in foods. *Handbook of mineral elements in food*. Ed.: Miguel de la Guardia, Salvador Garrigues, John Wiley & Sons, UK, 2015, 41-67.
- 64.Tsanova-Savova, S., Ribarova, F., & Petkov, V. Flavonoids Content in Foods in Respect of Their Bioaccessibility and Bioavailability. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 2016, 69(10).
- 65.Suliburska, J., & Krejpcio, Z. Evaluation of the content and bioaccessibility of iron, zinc, calcium and magnesium from groats, rice, leguminous grains and nuts. *Journal of food science and technology*, 2014, 51(3), 589-594.

66. Zeng, Z., Liu, C., Luo, S., Chen, J., & Gong, E. The profile and bioaccessibility of phenolic compounds in cereals influenced by improved extrusion cooking treatment. *PloS one*, 2016, 11(8), e0161086.
67. Chitindingu, K., Benhura, M. A., & Muchuweti, M. *In vitro* bioaccessibility assessment of phenolic compounds from selected cereal grains: A prediction tool of nutritional efficiency. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(1), 575-581.
68. Hithamani, G., & Srinivasan, K. Bioaccessibility of polyphenols from wheat (*Triticum aestivum*), sorghum (*Sorghum bicolor*), green gram (*Vigna radiata*), and chickpea (*Cicer arietinum*) as influenced by domestic food processing. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2014, 62(46), 11170-11179.
69. Zaupa, M., Scazzina, F., Dall'Asta, M., Calani, L., Del Rio, D., Bianchi, M. A., ... & Brighenti, F. *In vitro* bioaccessibility of phenolics and vitamins from durum wheat aleurone fractions. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2014, 62(7), 1543-1549.
70. Nabeshima, E. H., Ormenese, R. D. C., Montenegro, F. M., Toda, E., & Sadahira, M. S. Propriedades tecnológicas e sensoriais de pães fortificados com ferro. *Food Science and Technology*, 2005, 25(3), 506-511
71. Khanam, A., & Platel, K. Bioaccessibility of selenium, selenomethionine and selenocysteine from foods and influence of heat processing on the same. *Food chemistry*, 2016, 194, 1293-1299.
72. Desai, K. G. H., & Jin Park, H. Recent developments in microencapsulation of food ingredients. *Drying technology*, 2005, 23(7), 1361-1394.
73. Cheng, J., Kanaan, A., Zhao, D., Qi, D., & Song, J. Photo-polymerizable ferrous sulfate liposomes as vehicles for iron fortification of food. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 2020, 30, 102286.
74. McClements, D. J. Requirements for food ingredient and nutraceutical delivery systems. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*, Woodhead Publishing, 2012, 3-18.
75. Saifullah, M., Shishir, M. R. I., Ferdowsi, R., Rahman, M. R. T., & Van Vuong, Q. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, 86, 230-251.
76. Green, B. K., & Lowell, S. U.S. Patent No. 2,730,456. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1956.
77. Ghosh, S. K. Functional coatings and microencapsulation: a general perspective. *Functional coatings*, 2006, 1-28.
78. Ye, Q., Georges, N., & Selomulya, C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 78, 167-179.
79. Paulo, F., & Santos, L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering: C*, 2017, 77, 1327-1340.
80. Suganya, V., & Anuradha, V. Microencapsulation and nanoencapsulation: a review. *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 2017, 9(3), 233-239.
81. Berk, Z. Freeze drying (lyophilization) and freeze concentration. *Food process engineering and technology*, 2013, 2.
82. Fang, Z., & Bhandari, B. Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In *Encapsulation technologies*

- and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals, Woodhead Publishing, 2012, 73-109.
83. Ceballos, A. M., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. Effect of freezing rate on quality parameters of freeze dried soursop fruit pulp. *Journal of food engineering*, 2012, 111(2), 360-365.
  84. Nireesha, G. R., Divya, L., Sowmya, C., Venkateshan, N. N. B. M., & Lavakumar, V. Lyophilization/freeze drying-an review. *International journal of novel trends in pharmaceutical sciences*, 2013, 3(4), 87-98.
  85. Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., & Liang, L. Microencapsulation of oils: A comprehensive review of benefits, techniques, and applications. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2016, 15(1), 143-182.
  86. Meiners, J. A. Fluid bed microencapsulation and other coating methods for food ingredient and nutraceutical bioactive compounds. In *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals*. Woodhead Publishing, 2012, 151-176.
  87. Bratović, A., & Suljagić, J. Micro-and nano-encapsulation in food industry. *Croatian journal of food science and technology*, 2019, 11(1), 113-121.
  88. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 2007, 40(9), 1107-1121.
  89. Frey, R.C. Encapsulation via Fluidized Bed Coating Technology. In *Handbook of Encapsulation and Controlled Release*, CRC Press, London, New York, 2015, 111-147.
  90. Alemzadeh, I., Hajiabbas, M., Pakzad, H., Sajadi Dehkordi, S., & Vossoughi, A. Encapsulation of Food Components and Bioactive Ingredients and Targeted Release. *International Journal of Engineering*, 2020, 33(1), 1-11.
  91. Oxley, J. D. Spray cooling and spray chilling for food ingredient and nutraceutical encapsulation. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*. Woodhead Publishing. 2012, 110-130.
  92. Poornima, K., & Sinthya, R. Application of Various Encapsulation Techniques in Food Industries. *Matrix*, 2017, 10, 400.
  93. Varhan, E., & Koç, M. Gıda Bileşenlerinin Sprey Soğutma Yöntemi ile Enkapsülasyonu. *Food and Health*, 2018, 4(3), 202-212.
  94. Abd El-Kader, A., & Hashish, H. A. Encapsulation techniques of food bioproduct. *Egyptian Journal of Chemistry*, 2019, DOI: 10.21608/ejchem.2019.16269.1993
  95. Zasytkin, D., & Porzio, M. Glass encapsulation of flavours with chemically modified starch blends. *Journal of microencapsulation*, 2004, 21(4), 385-397.
  96. Kavitha, D., Kandasamy, S., Devi, P. B., & Shetty, P. H. Recent developments on encapsulation of lactic acid bacteria as potential starter culture in fermented foods—A review. *Food bioscience*, 2018, 21, 34-44.
  97. Barenholz, Y. Relevancy of drug loading to liposomal formulation therapeutic efficacy. *Journal of liposome research*, 2003, 13(1), 1-8.
  98. Khorasani, S., Danaei, M., & Mozafari, M. R. Nanoliposome technology for the food and nutraceutical industries. *Trends in food science & technology*, 2018, 79, 106-115.

99. Emami, S., Azadmard-Damirchi, S., Peighambaroust, S. H., Valizadeh, H., & Hesari, J. Liposomes as carrier vehicles for functional compounds in food sector. *Journal of Experimental Nanoscience*, 2016, 11(9), 737-759.
100. Singh, H., Thompson, A., Liu, W., & Corredig, M. Liposomes as food ingredients and nutraceutical delivery systems. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*, Woodhead Publishing, 2012, 287-318.
101. Fouladi, F., Steffen, K. J., & Mallik, S. Enzyme-responsive liposomes for the delivery of anticancer drugs. *Bioconjugate chemistry*, 2017, 28(4), 857-868.
102. Pauli, G., Tang, W. L., & Li, S. D. Development and characterization of the solvent-assisted active loading technology (SALT) for liposomal loading of poorly water-soluble compounds. *Pharmaceutics*, 2019, 11(9), 465.
103. Shishir, M. R. I., Xie, L., Sun, C., Zheng, X., & Chen, W. Advances in micro and nano-encapsulation of bioactive compounds using biopolymer and lipid-based transporters. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 78, 34-60.
104. de Souza Simões, L., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Teixeira, J. A., Vicente, A. A., & Ramos, O. L. Micro- and nano bio-based delivery systems for food applications: *In vitro* behavior. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2017, 243, 23-45.
105. Timilsena, Y. P., Wang, B., Adhikari, R., & Adhikari, B. Advances in microencapsulation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs)-rich plant oils using complex coacervation: A review. *Food hydrocolloids*, 2017, 69, 369-381.
106. Sutaphanit, P., & Chitprasert, P. Optimisation of microencapsulation of holy basil essential oil in gelatin by response surface methodology. *Food chemistry*, 2014, 150, 313-320.
107. Garti, N., & Aserin, A. Micelles and microemulsions as food ingredient and nutraceutical delivery systems. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*, Woodhead Publishing, 2012, 211-251.
108. Jia, Z., Dumont, M. J., & Orsat, V. Encapsulation of phenolic compounds present in plants using protein matrices. *Food Bioscience*, 2016, 15, 87-104.
109. Anton, N., & Vandamme, T. F. Nano-emulsions and micro-emulsions: clarifications of the critical differences. *Pharmaceutical research*, 2011, 28(5), 978-985.
110. Saberi, A. H., Fang, Y., & McClements, D. J. Influence of surfactant type and thermal cycling on formation and stability of flavor oil emulsions fabricated by spontaneous emulsification. *Food Research International*, 2016, 89, 296-301.
111. McClements, D. J., Decker, E. A., Park, Y., & Weiss, J. Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2009, 49(6), 577-606.
112. Thies, C. Microencapsulation methods based on biopolymer phase separation and gelation phenomena in aqueous media. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*, Woodhead Publishing, 2012, 177-207.
113. Chan, E. S., Lee, B. B., Ravindra, P., & Poncelet, D. Prediction models for shape and size of calcium alginate macrobeads produced through extrusion-dripping method. *Journal of colloid and interface science*, 2009, 338(1), 63-72.

114. Akbari-Alavijeh, S., Shaddel, R., & Jafari, S. M. Encapsulation of food bioactives and nutraceuticals by various chitosan-based nanocarriers. *Food Hydrocolloids*, 2020, 105774.
115. McClements, D. J., & Li, Y. Structured emulsion-based delivery systems: controlling the digestion and release of lipophilic food components. *Advances in colloid and interface science*, 2010, 159(2), 213-228.
116. Zuidam, N. J. An industry perspective on the advantages and disadvantages of iron micronutrient delivery systems. In *Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals*, Woodhead Publishing, 2012, 505-540.
117. Bryszewska, M. A. Comparison study of iron bioaccessibility from dietary supplements and microencapsulated preparations. *Nutrients*, 2019, 11(2), 273.
118. Bryszewska, M. A., Laghi, L., Zannoni, A., Gianotti, A., Barone, F., Taneyo Saa, D. L., ... & Forni, M. Bioavailability of microencapsulated iron from fortified bread assessed using piglet model. *Nutrients*, 2017, 9(3), 272.
119. Gutiérrez, G., Matos, M., Barrero, P., Pando, D., Iglesias, O., & Pazos, C. Iron-entrapped niosomes and their potential application for yogurt fortification. *LWT*, 2016, 74, 550-556.
120. Fidler, M. C., Walczyk, T., Davidsson, L., Zeder, C., Sakaguchi, N., Juneja, L. R., & Hurrell, R. F. A micronised, dispersible ferric pyrophosphate with high relative bioavailability in man. *British Journal of Nutrition*, 2004, 91(1), 107-112.
121. Zimmermann, M. B., Wegmueller, R., Zeder, C., Chaouki, N., Biebinger, R., Hurrell, R. F., & Windhab, E. Triple fortification of salt with microcapsules of iodine, iron, and vitamin A. *The American journal of clinical nutrition*, 2004, 80(5), 1283-1290.
122. Zimmermann, M. B., Winichagoon, P., Gowachirapant, S., Hess, S. Y., Harrington, M., Chavasit, V., ... & Hurrell, R. F. Comparison of the efficacy of wheat-based snacks fortified with ferrous sulfate, electrolytic iron, or hydrogen-reduced elemental iron: randomized, double-blind, controlled trial in Thai women. *The American journal of clinical nutrition*, 2005, 82(6), 1276-1282.
123. Gupta, C., Chawla, P., & Arora, S. Development and evaluation of iron microcapsules for milk fortification. *CyTA-Journal of Food*, 2015, 13(1), 116-123.
124. Zhang, Z., Zhang, R., Zou, L., & McClements, D. J. Protein encapsulation in alginate hydrogel beads: Effect of pH on microgel stability, protein retention and protein release. *Food Hydrocolloids*, 2016, 58, 308-315.
125. Narin Ceren. Soğuk jelleşme metodu ile aljinat matrisinde bezelye proteininin kaplanması ve kapsüllerin meyve sularında kullanımı. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2019, 127 s. (Yüksek Lisans Tezi)
126. WHO, Guidelines On Food Fortification With Micronutrients. Geneva: World Health Organization, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Fransa, 2006, 331.
127. Türk Gıda Kodeksi. Gıda Maddelerinin Genel Etiketleme ve Beslenme Yönünden Etiketleme Kuralları Tebliği, 2002.
128. Özgören, E., Kaplan, H. B., & Tüfekçi, S. chia tohumu kullanılarak zenginleştirilen galetaların bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri. *Food and health*, 2018, 4(2), 140-146.

129. Anonim, TS EN ISO 2171. Tahıllar, Baklagiller ve Yan Ürünleri Yakılarak Kül Muhtevasının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 2010, Ankara
130. Anonim, TS EN ISO 712. Tahıl ve Tahıl Ürünleri- Rutubet Muhtevası Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 2010, Ankara.
131. Elgün, A., Türker, S., & Bilgiçli, N. Tahıl ve ürünlerinde analitik kalite kontrolü Ders Notu. Necmettin Erbakan üniversitesi Konya Ticaret Borsası Yayın, 2015, 2.
132. Prim, S. R., Folgueras, M. V., De Lima, M. A., & Hotza, D. Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry. *Journal of hazardous materials*, 2011, 192(3), 1307-1313.
133. İncedayi, B., Tamer, C. E., Sinir, G. Ö., Suna, S., & Çopur, Ö. U. Impact of different drying parameters on color,  $\beta$ -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca*L.). *Food Science and Technology*, 2016, 36(1), 171-178.
134. Petchoo, J., Jittinandana, S., Tuntipopipat, S., Ngampeerapong, C., & Tangsuphoom, N. Effect of partial substitution of wheat flour with resistant starch on physicochemical, sensorial and nutritional properties of breadsticks. *International Journal of Food Science & Technology*, 2020.
135. Ktenioudaki, A., Chaurin, V., Reis, S. F., & Gallagher, E. Brewer's spent grain as a functional ingredient for breadsticks. *International journal of food science & technology*, 2012, 47(8), 1765-1771.
136. Barışık, D., & Tavman, Ş. Glütensiz Ekmek Formülasyonlarında Nohut Unu Kullanımının Ekmeğin Kalitesi Üzerine Etkisi. *Academic Food Journal/Akademik Gıda*, 2018, 16(1).
137. SPSS 24.0. Statistical Package for the Social Sciences. Chicago, IL, USA: IBM; 2015.
138. Ağbaş, B., Karakuş, D., Adıgüzel, R., Keser, S., & Demir, E. Tunceli sarımsağının (*Allium tuncelianum*) toplam antioksidan özelliklerinin ve kuru madde içeriğinin normal sarımsak (*Allium sativum*) ile karşılaştırılması. *Bilim ve Gençlik Dergisi*, 2013, 1(2), 50-62.
139. Thanushree, M. P., Sudha, M. L., & Crassina, K. Lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome powder as a novel ingredient in bread sticks: rheological characteristics and nutrient composition. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2017, 11(4), 1795-1803.
140. Uribe-Wandurraga, Z. N., Igual, M., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. Effect of microalgae addition on mineral content, colour and mechanical properties of breadsticks. *Food & function*, 2019, 10(8), 4685-4692.
141. Demir, M. K. Geleneksel Tarhana Üretiminde Tam Buğday Unu Kullanımı. *Academic Food Journal/Akademik Gıda*, 2018, 16(2).
142. Alioğlu, Tuba. Tam Buğday Unlu Ekşi Hamurun Bisküvi Üretiminde Kullanımının Bisküvi Kalite Özelliklerine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2019, 60s. (Yüksek Lisans Tezi)
143. Bulut, S. Ekmeklik buğdayda kalite. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2012, 28(5), 441-446.
144. Demir, M. K. Bisküvi üretiminde tam buğday unu ve paçallarının kullanımı. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 2015, 21, 100-107.
145. Miranda, G., Berna, A., González, R., & Mulet, A. The storage of dried apricots: The effect of packaging and temperature on the changes of texture

- and moisture. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2014, 38(1), 565-572.
146. Karaağaoğlu, N., Mercanlıgil, S. M., & Başoğlu, S. Özel Amaçlı Bisküvi, Galeta, Grissini, Etimek Gibi Tahıl Ürünlerinin Besin Değerleri: Protein, Yağ, Nem, Kül, Karbonhidrat ve Enerji Miktarları. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 1993, 22(2), 229-242.
147. Alamprese, C., Cappa, C., Ratti, S., Limbo, S., Signorelli, M., Fessas, D., & Lucisano, M. Shelf life extension of whole-wheat breadsticks: Formulation and packaging strategies. *Food chemistry*, 2017, 230, 532-539.
148. Siddique, A., & Park, Y. W. Effect of iron fortification on microstructural, textural, and sensory characteristics of caprine milk Cheddar cheeses under different storage treatments. *Journal of dairy science*, 2019, 102(4), 2890-2902.
149. Van Campen, D. R., & Glahn, R. P. Micronutrient bioavailability techniques: accuracy, problems and limitations. *Field Crops Research*, 1999, 60(1-2), 93-113.
150. Ünüsan, N. Okulöncesi dönem çocuklarında demirin önemi ve bilişsel davranış üzerine etkisi. *M.Ü. Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 2003, 17, 87-98.
151. Yeung, A. C., Glahn, R. P., & Miller, D. D. Comparison of the Availability of Various Iron Fortificants in Bread and Milk Using an *In Vitro* Digestion/Caco-2 Cell Culture Method. *Journal of food science*, 2002, 67(6), 2357-2361.
152. Nayak, B., & Nair, K. M. *In vitro* bioavailability of iron from wheat flour fortified with ascorbic acid, EDTA and sodium hexametaphosphate, with or without iron. *Food Chemistry*, 2003, 80(4), 545-550.
153. Govindaraj, T., KrishnaRau, L., & Prakash, J. *In vitro* bioavailability of iron and sensory qualities of iron-fortified wheat biscuits. *Food and nutrition bulletin*, 2007, 28(3), 299-306.
154. Bryszewska, M. A., Tomás-Cobos, L., Gallego, E., Villalba, M., Rivera, D., Saa, D. L. T., & Gianotti, A. *In vitro* bioaccessibility and bioavailability of iron from breads fortified with microencapsulated iron. *LWT*, 2019, 99, 431-437
155. Marchetti, L., Califano, A. N., & Andrés, S. C. Partial replacement of wheat flour by pecan nut expeller meal on bakery products. Effect on muffins quality. *LWT*, 2018, 95, 85-91.
156. Furuta, T., Soottitawat, A., Neoh, T. L., & Yoshii, H. Effect of microencapsulation on food flavors and their releases. CRC Press: Boca Raton, London, New York, 2011, 33-40.
157. Alamilla-Beltran, L., Chanona-Perez, J. J., Jimenez-Aparicio, A. R., & Gutierrez-Lopez, G. F. Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, 2005, 67(1-2), 179-184.
158. Cengiz, A., Schroën, K., & Berton-Carabin, C. Lipid oxidation in emulsions fortified with iron-loaded alginate beads. *Foods*, 2019, 8(9), 361.
159. Khosroyar, S., Akbarzade, A., Arjoman, M., Safekordi, A. A., & Mortazavi, S. A. Ferric Saccharate capsulation with alginate coating using the emulsification method. *African Journal of Microbiology Research*, 2012, 6(10), 2455-2461.
160. Wagdare, N. A., Marcelis, A. T., Boom, R. M., & Van Rijn, C. J. Porous microcapsule formation with microsieve emulsification. *Journal of colloid and interface science*, 2011, 355(2), 453-457.

161. Waliszewski, K. N., Garcia, R. H., Ramirez, M., & Garcia, M. A. Polyphenol oxidase activity in banana chips during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 2000, 18(6), 1327-1337.
162. Martínez-Bustos, F., Cruz Sánchez, A., Ortega-Martínez, A. D. C., & Aguilar-Palazuelos, E. Study of the functionality of nixtamalized maize flours and tortillas added with microcapsules of ferrous fumarate and folic acid. *Cereal Chemistry*, 2018, 95(5), 699-707.
163. Churio, O., & Valenzuela, C. Development and characterization of maltodextrin microparticles to encapsulate heme and non-heme iron. *LWT*, 2018, 96, 568-575.
164. Olgun, M., Başçiftçi, Z. B., Ayter, N. G., Kutlu, İ., Arzu, A. K. I. N., & Karaduman, Y. Ekmeklik Buğday (*Triticum Aestivum* L.) Çeşitlerinde Protein Oranının Üç Farklı Analiz Yöntemine Göre Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma. *Sdü Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2013, 8(2), 80-87.
165. Chang, Sam K.C., *Food Analysis*. Ed: S. Suzanne Nielsen. Springer, New York, 2020, 133-146.
166. Fujihara, S., Sasaki, H., Aoyagi, Y., & Sugahara, T. Nitrogen-to-protein conversion factors for some cereal products in Japan. *Journal of food science*, 2008, 73(3), C204-C209.
167. El-Hadidy, G. S., Yousef, E. A., & Abd El-Sattar, A. S. Effect of Fortification Breadsticks with Milk Thistle Seeds Powder on Chemical and Nutritional Properties. *Asian Food Science Journal*, 2020, 1-9.
168. Kahraman, O., & Ustunol, Z. (2012). Effect of zinc fortification on Cheddar cheese quality. *Journal of dairy science*, 95(6), 2840-2847.

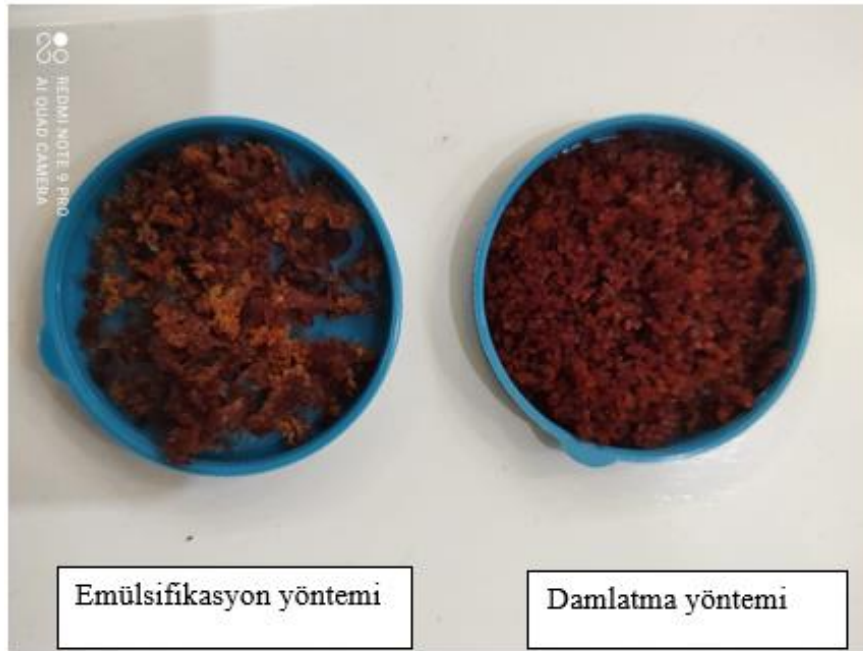


## EKLER

### Ek 1. Atıştırılabilir Tahlil Barları



### Ek 2. Emülsifikasyon ve damlatma yöntemleri ile üretilen kapsüller



### Ek 3.Duyusal Değerlendirme Formu

**Panelistin Adı-Soyadı:**

**Tarih- saat:**

Lütfen size verilen örnekleri aşağıdaki puanlamaya göre değerlendiriniz.

Kriter	Örnek kodları			
	--	--	--	--
<b>Görünüş</b>				
<b>Renk</b>				
<b>Lezzet</b>				
<b>Doku</b>				
<b>Genel Beğeni</b>				

5: Çok beğendim

4: Beğendim

3: Ne beğendim ne beğenmedim

2: Beğenmedim

1: Hiç beğenmedim

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emine ERDAĞ AKCA

Doğum Yeri ve Yılı : Konya, 1994

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : emine.erdag@cbu.edu.tr

### Eğitim Durumu

Lise : Konya Selçuklu Anadolu Lisesi, 2011

Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 2016

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, -

### Mesleki Deneyim

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

2018-

### Yayınlar

Uylaşer, V., Erdağ, E., Compositions And Health Benefits Of Pomegranate Products, I. International Congress On Medicinal And Aromatic Plants, May, 10-12, 2017, Konya, Turkey

Erdağ, E., Çağındı, Ö., Köse, E., Altınbaş ve Sarı Kışlık Kavun Çekirdeklerinin Mineral Madde Kompozisyonları, III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, Uygulamalı Bilimler Kitabı, 2019, Gaziantep, Türkiye, ISBN-978-605-7875-60-0

Çağındı, Ö. Erdağ, E., Köse, E., Altınbaş ve Sarı Kışlık Kavun Çekirdeklerinin Amino Asit Kompozisyonlarının Belirlenmesi, III. Uluslararası Avrasya Multidisipliner Çalışmalar Kongresi, Uygulamalı Bilimler Kitabı, 2019, Gaziantep, Türkiye, ISBN-978-605-7875-60-0